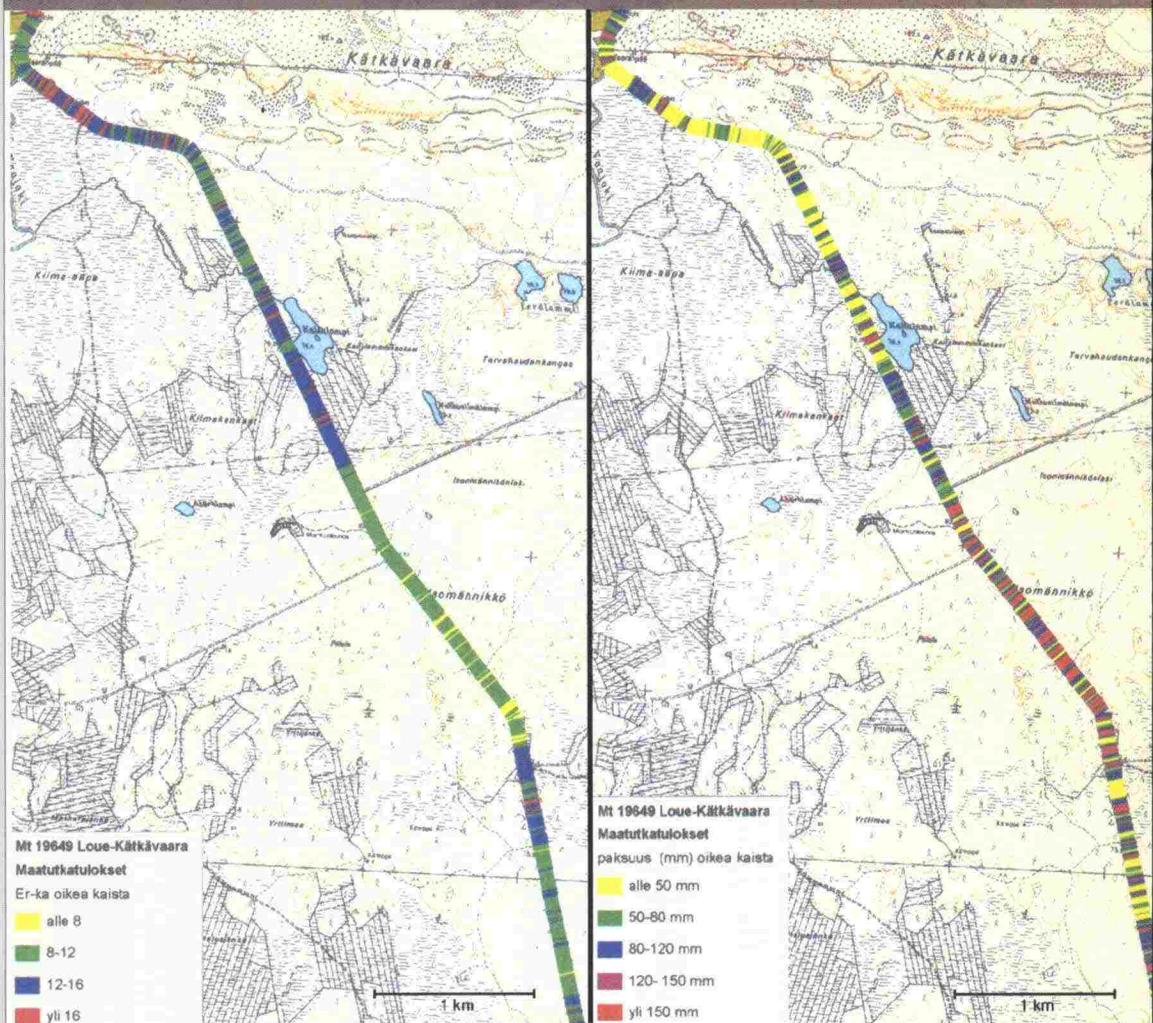
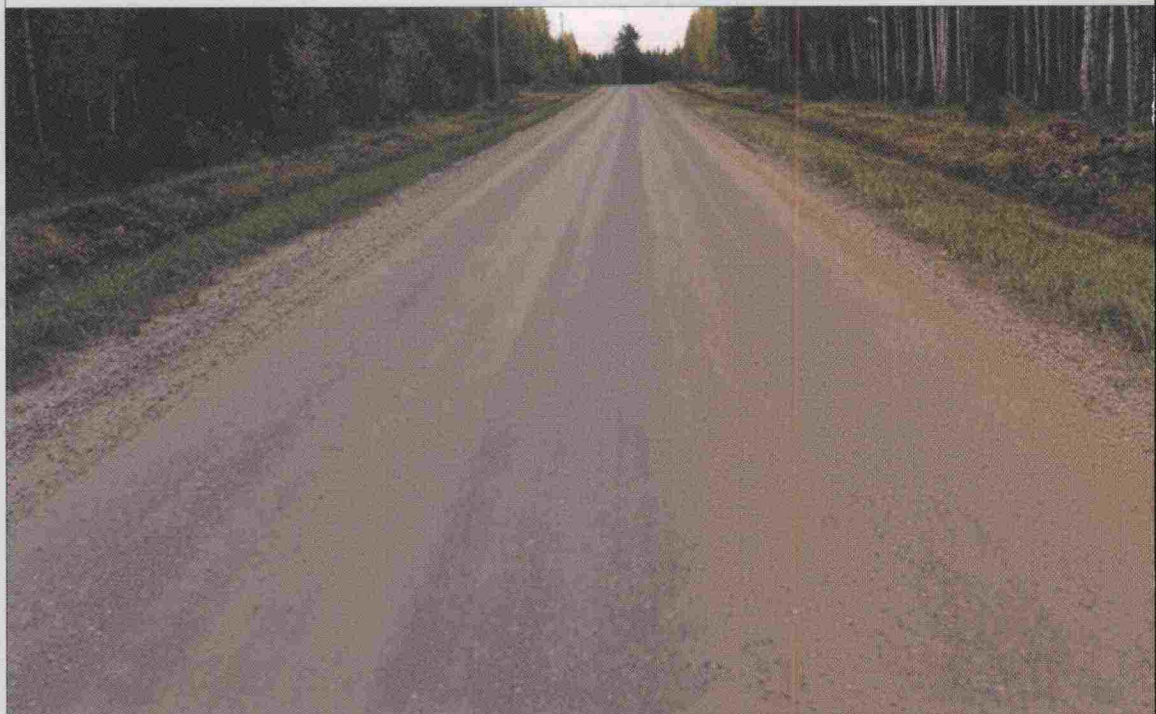


# Maatutkatekniikan käyttö sorateiden kulutuskerrostutkimuksissa



Tielaitoksen  
selvityksiä

**16/2000**

Oulu 1999

TUOTANTO

Tielaitoksen selvityksiä 16/2000

Timo Saarenketo

## **Maatutkatekniikan käyttö sorateiden kulutuskerrostutkimuksissa**

**Tielaitos**  
TUOTANTO

Oulu 1999

ISSN 0788-3722  
ISBN 951-726-632-4  
TIEL 3200605

EOy Edita Ab  
Helsinki 2000

Julkaisua myy  
Tielaitos, julkaisumyynti  
Puhelin 0204 44 2053  
Telefax 0204 44 2652

Julkaisua saatavana:  
Yksikön nimi



**Tielaitos**  
**TUOTANTO**  
Opastinsilta 12 A  
PL 33  
0521 HELSINKI  
Puhelinvaihde 0204 44 150



## TIIVISTELMÄ

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, miten maatutkatekniikkaa voidaan hyödyntää sorateiden kulutuskerroksen paksuustutkimuksiin hanketasolla ja verkkotasolla. Tutkimuksen toisena tavoitteena oli tutkia mahdollisuuksia käyttää hyväksi maatutkan avulla mitattavaa kulutuskerroksen dielektrisyysinformaatiota määritettäessä kerroksen laatu.

Tutkimuksissa testattiin maatutkaa hanketasolla maantiellä 9241 Simo as. -Ylikärppä, jossa maatutkan ja laboratoriotutkimusten tuottamaa tietoa hyödynnettiin uuden kulutuskerroksen suunnittelussa ja suhteutuksessa. Verkkotason tutkimuksissa Kemin ja Karstulan tiemestaripiirien alueilla tavoitteena oli selvittää alueen teiden kulutuskerroksen kunto, paksuus sekä soraustuksen tarve. Tutkimuksissa testattiin maatutkan 1.5 GHz:n maavasteantennia ja 1.0 GHz:n kartiotorviantennia.

Tutkimuksen tulokset osoittivat, että maatutkaa voidaan käyttää kulutuskerroksen paksuuden mittauksiin. Mittausten keskivirhe, 25 mm, on kuitenkin paljon suurempi kuin päällystettyjen teiden tutkamittausten keskivirhe. Tämä johtuu pääasiassa siitä, että kulutuskerroksen paksuus vaihtelee suuresti jo tien poikkileikkauksessa, jolloin yksittäisen kairapisteen referenssipaksuus ei kuvaa maatutkalla mitatun alueen paksuutta. Kulutuskerros on usein myös sekoittunut alempien kerrosten kanssa, jolloin tarkan rajapinnan määrittäminen on maatutkalla vaikeaa. Siksi maatutkamittausten apuna on aina käytettävä referenssitietoja. Maatutka-antenneista kartiotorviantenni osoitautui mittauksissa tehokkaammaksi kuin maavasteantenni.

Kartiotorviantennilla pintaheijastusmenetelmällä mitattava kulutuskerroksen dielektrisyysarvo kuvasi hyvin kulutuskerroksen suctionominaisuuksia. Korkeat dielektrisyysarvot indikoivat vedelle herkkiä ja routivia kulutuskerros-materiaaleja ja alhaiset dielektrisyysarvot puolestaan kertoivat sideaineen puutteesta. Raportissa esitetään myös ehdotus kulutuskerroksen laatu-luokitukseksi dielektrisyys- ja kerrospaksuuden perusteella. Mittaustulosten esittämisessä GIS-kartat osoittautuivat erinomaisiksi apuvälineeksi.



**Key words** Ground Penetrating Radar, gravel road, wearing course, dielectric value, tube suction test

## ABSTRACT

The objective of this research was to find out how to utilize Ground Penetrating Radar (GPR) technology on project and network levels, when studying the wearing course of gravel roads. The second objective was to investigate the possibilities of taking advantage of the dielectricity-information, measured by the GPR, when determining the quality of the wearing course.

In this study the GPR was tested on a project level on highway 9241 Simo as. - Ylikärppä, where the information provided by the GPR and laboratory research was used in designing and proportioning a new wearing course. The goal in the network level studies at the maintenance areas of Kemi and Karstula was to find out the condition, thickness and the need for new gravel of the roads in the area. A 1.5 GHz ground-coupled antenna and a 1.0 GHz horn antenna were tested in this study.

The research shows that GPR can be used to measure the thickness of the wearing course, the average measuring error being 25 mm, which is considerably larger than the error of radar measurements in paved roads. To a great extent this is due to the fact that the thickness of the wearing course varies greatly even in the road's cross-section and thus a single reference thickness does not represent the actual thickness of the area measured with the GPR. The wearing course can often get mixed up with lower layers, which makes it hard to determine the exact layer border. That's why reference information must always be used along with the GPR measurements. From the GPR-antennae, the horn antenna proved to be more effective in the measurements compared to the ground-coupled antenna.

The dielectric value of the wearing course, measured with the horn antenna by a surface reflection method, represents well the suction properties of the wearing course. High dielectric values reflect the water sensitive and frost susceptible wearing course materials when low values in turn reveal the lack of binder. Also, a suggestion is made in the report concerning the quality rating of the wearing course by its dielectrics and layer thickness. In presenting the measuring results, GIS-maps proved to be invaluable.

## ALKUSANAT

Tielaitoksen tuotannon t&k hankkeen "hallittu sorateiden hoitourakka" tavoitteena on ollut luoda tuotannossa valmiuksia toteuttaa sorateiden hoito- ja kunnostustyöt kokonaisvastuu-urakalla (KVU). Kehitystyön ensimmäisessä vaiheessa on pyritty luomaan yhteisesti hyväksytyt ja yksiselitteisesti määritettävissä olevat urakoitavan tiestön rakenteelista ja toiminnallista kuntoa kuvaavat tuotevaatimukset. Näitä tuote-vaatimuksia voivat olla mm. kulutuskerroksen paksuus, kelirikon hoito, kulutuskerroksen laatu / hoitokertojen määrä sekä tienpinnan tasaisuus / kuntoluokitus. Tavoitteiden saavuttamiseksi valittiin keväällä 1998 tehdyn esiselvityksen jälkeen vuoden 1998 pilottikohteiksi sora-tien kuntotilan määrittämistekniikat, maatutkamitauksien käyttö sorateiden tutkimuksissa, kulutuskerroksen palvelutason määrittäminen sekä kulutuskerroksen materiaalitutkimukset.

Tässä raportissa käsitellään maatutkatekniikan käyttömahdollisuuksia sorateiden kulutuskerroksen tutkimuksissa. Erityisesti tavoitteena oli selvittää menetelmän soveltuvuus kulutuskerrosten paksuuden mittauksiin sekä projekti- että verkkotasolla ja toisaalta selvittää miten maatutkan antamaa dielektrisyysinformaatiota voidaan hyödyntää kulutuskerrosten laadun tutkimuksissa ja uuden kerroksen suunnittelussa.

Tämä tutkimustyö on tehty Tielaitoksen Tuotannon t&k-ryhmän toimeksiannosta. Projektin koordinaattorina on toiminut Heikki Vesa. Maatutkamittauksista on vastannut konsultoinnin tiestötietoryhmän maatutkaryhmä. Maatutkamittausten tulkinnot ovat tehneet Mt 9241 Simo as. - Ylikärppä tutkimuskohteessa Timo Saarenketo Roadscanners Oy:stä ja verkkotason tutkimuskohteissa Kemin ja Karstulan tien alueilla Ismo Ylitähti ja Marko Niku Tielaitoksen Tuotannon Konsultoinnista. Tutkimustulosten analysoinnista ja loppuraportista on vastannut Timo Saarenketo Roadscanners Oy:stä.

Oulussa 27.09.1999

Timo Saarenketo  
Heikki Vesa

## Sisältö

1	JOHDANTO	9
2	YLEISTÄ	10
2.1	Maatutka sorateiden tutkimuksissa	10
2.2	Kulutuserroksen sähköiset ja mekaaniset ominaisuudet	12
3	TUTKIMUSKOhteET JA TEHDYT TUTKIMUKSET	14
3.1	Hanketason tutkimukset: Mt 9241 Simo as. – Alakärppä	14
3.2	Verkkotason selvitykset: Kemin ja Karstulan sorateiden kulutuserrostutkimukset	15
4	TUTKIMUSTULOKSET	18
4.1	Mt 9241 Simo as. - Ylikärppä	18
4.1.1	Kulutuserroksen paksuus ja dielektrisyys	18
4.1.2	Kulutuserroksen rakeisuus	20
4.1.3	Kloridipitoisuudet	21
4.1.4	TS-testin tulokset	21
4.1.5	Maatutkamittaus eri antennilla	24
4.2	Verkkotason tutkimukset	25
4.2.1	Kemin tiemestaripiirin kohteet	25
4.2.2	Karstulan tiemestaripiirin kohteet	30
5	TULOSTEN TARKASTELU JA JOHTOPÄÄTÖKSET	37
5.1	Maatutka ja kulutuserroksen paksuus	37
5.2	Maatutka ja kulutuserroksen laatu	39
6	YHTEENVETO	42
7	VIITTEET	43



## 1 JOHDANTO

Suomen yleisistä teistä sorapintaisia on vielä noin 37 % eli 28.000 km. Nämä tiet sijaitsevat suurimmaksi osaksi alemmalla tieverkolla, niiden liikennesuorite on vain 5 % yleisten teiden liikennesuoritteesta ja valtaosalla sorateilla liikennemäärä on alle 200 ajoneuvoa vuorokaudessa. Sorateilla on kuitenkin tärkeä osuus esimerkiksi puunjalostusteollisuuden ja maatalouden kuljetuksissa.

Soratiet voidaan jakaa karkeasti rakentamattomiin ja rakennettuihin. Rakentamattomat tiet ovat kehittyneet pikkuhiljaa pienistä kyläteistä ja ne ovat yleensä ns. kostearunkoisia eli niissä ei ole kapillaarisen veden nousun katkaisevaa suodatinkerrosta. Rakennetuissa sorateissa on yleensä kulutuskerroksen ja kantavan kerroksen alla suodatinkerros ja niitä voidaan pitää ns. kuivarunkoisina teinä. Suomen soratiestöstä suurin osa sisältää molempia edellä mainittuja tyyppejä; kuivat kangasmaat ja kylätiet ovat rakentamattomia teitä ja rakennettuja teitä löytyy pehmeiköiltä sekä siltojen ja rumpujen ympäristöissä.

Sorateiden kulutuskerroksen tehtävänä on mm. pitää tien pinta mahdollisimman kiinteänä ja tasaisena ja parantaa näin tien ajomukavuutta ja pienentää ajokustannuksia. Kulutuskerros rakennetaan Suomessa Tielaitoksen ohjeiden mukaan 50 mm paksuksi ja sen materiaalina käytetään soraa tai soramursketta, johon on lisätty savea tai muuta sideainetta. Viime vuosien aikana kulutuskerrosmateriaalia on tehty yhä enemmän moreenimurskeesta. Kulutuskerroksen sorastukseen käytetään Suomessa vuosittain 75-85 mmk.

Kulutuskerroksen materiaalin suhteutuksessa pyritään siihen, että materiaalissa on riittävästi sitovia komponentteja niin, että kulutuskerros ei kulu nopeasti vaan säilyy kiinteänä ja tasaisena; toisaalta kulutuskerros ei saisi myöskään menettää stabiilisuuttaan eikä se saisi olla sateella liukas. Kulutuskestävyys- ja kiinteysvaatimukset saavutetaan lisäämällä hienoaineksen määrää kulutuskerrokseen, mutta kantavuuden ja liukkauden kannalta runsas hienoaines aiheuttaa ongelmia etenkin kevätkelirikon aikana, varsinkin jos kulutuskerros on paksu.

Sorateiden kulutuskerroksen hoitotarpeesta ja hoitotoimenpiteistä on perinteisesti päätetty paikallisella tasolla ja esimerkiksi tiehöylän kuljettaja on usein ollut paras asiantuntija, kun kulutuskerroksen paksuutta on arvioitu. Tielaitoksen uudessa tilaaja-tuottaja organisaatiossa, jossa soratieverkon kunnossapitovastuu saattaa siirtyä urakoitsijalta toiselle, ei vanha perimätietoon perustuva hoitotekniikka enää välttämättä onnistu ja siksi on alettu etsiä uusia tekniikoita, joilla kulutuskerroksen laatu ja paksuus voitaisiin helposti todeta.

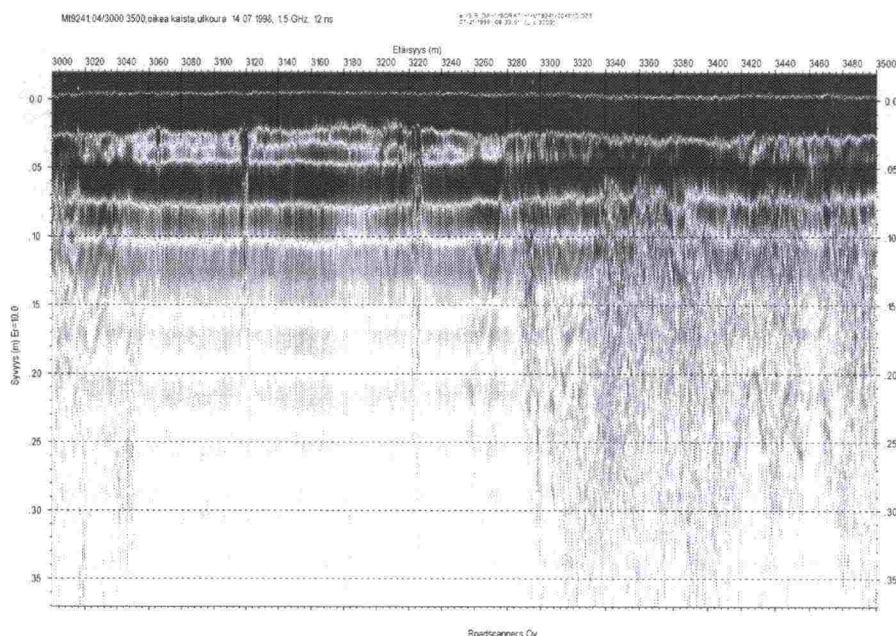
Tämän tutkimuksen tavoitteena on ollut testata maatumtatekniikan soveltuvuutta sorateiden kulutuskerroksen tutkimuksiin. Tutkimus on jakaantunut kahteen osaan: a) projektitason tutkimuksiin, joissa maatumtatekniikan ja laboratoriotutkimusten tuottamaa tietoa on käytetty uuden kulutuskerroksen suunnitteluun ja suhteutukseen ja b) verkkotason tutkimuksiin, jossa verkkotasolla selvitetään kulutuskerroksen kunto ja paksuus sekä sorastuksen tarve.



## 2 YLEISTÄ

### 2.1 Maatutka sorateiden tutkimuksissa

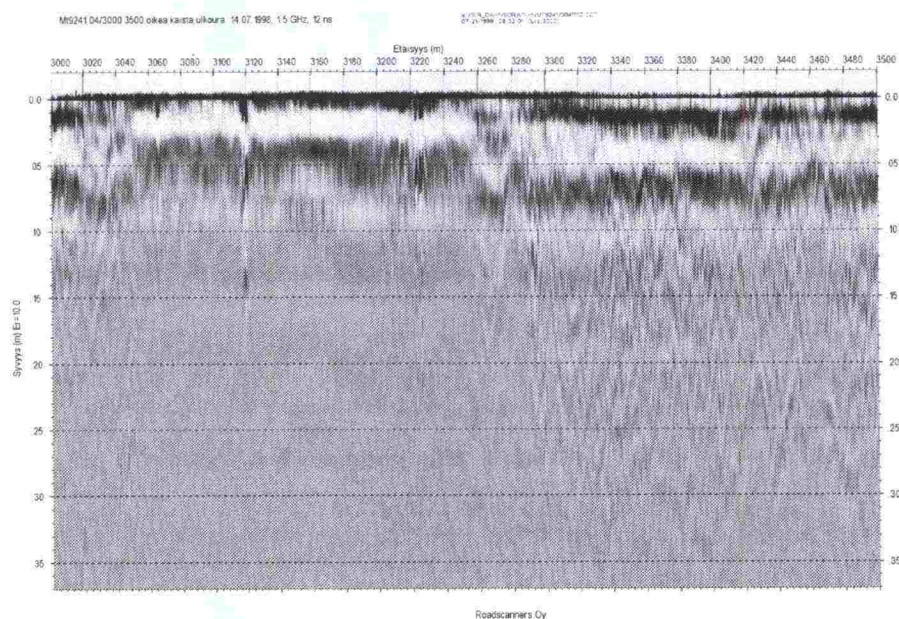
Kun 1980-luvun lopulla tielaitoksessa aloitettiin maatutkakokeilut erilaisissa tietutkimuksissa, kokeiltiin tutkaa myös sorateiden tutkimuksissa. Näissä testeissä tavoitteena oli lähinnä tiedon kerääminen pohjamaasta ja niissä käytettiin etupäässä 100-500 MHz:n antennoja. Tulokset eivät olleet kuitenkaan lupaavia, suurimpana syynä oli toisaalta sorateiden pölynsidonnassa käytetty suola, joka vaimensi tutkasignaalia ja toisaalta maavasteantennilla osittain edellisestä syystä johtuva voimakas "coupling" ilmiö, joka näkyi signaalin voimakkaana soimisena. Tuloksena oli silloisilla analogipiirtureilla tulostettu tutkaprofiili, jota ei kyetty tulkitsemaan (kuva 1). Vaikka maatutkaa ei varsinaisesti edes kokeiltu kulutuskerroksen paksuuden mittauksessa, oli johtopäätöksenä näistä kokeiluista, että maatutkan ei todettu soveltuvan suolattujen sorateiden tutkimuksiin (Saarenketo 1990, 1992).



Kuva 1. Esimerkki käsittelemättömästä maatutkadatasta tulostettuna 1980-luvun lopulla ja 1990-luvun alussa käytetyllä mustavalkopalkistolla, Mt 9241 Simo as. – Ylikärppä, tieosa 4, 3000-3500 m. Antenni: 1.5 GHz maavasteantenni.

Kuitenkin 1990-luvun alkupuolella tehty materiaalitutkimukset auttoivat tutkijoita ymmärtämään paremmin maatutkasignaalin käyttäytymistä ja uudet digitaalisesti tallentavat maatutkat ja tehokkaat tulkintaohjelmit loivat uusia mahdollisuuksia ratkaista ongelma. Yksi tärkeimmistä tekniikoista, jotka edesauttoivat maatutkatekniikan käyttöönottoa sorateiden tutkimuksissa oli siltojen betonikansitutkimusten yhteydessä kehitetty tutkasignaalin taustanpoistotekniikka (Maijala et al. 1994). Taustanpoiston avulla voitiin poistaa tehokkaasti pinnan lähellä näkyvät maatutkasignaalin soimisesta aiheutuvat vaakasuorat heijasteet, jotka peittivät varsinaiset rajapintaheijasteet. Sorateiden maatutkatulkintaa helpotti merkittävästi myös siirtyminen analogipiirturin tuottamista "musta-valko-tulosteista" käyttämään heijasteen polariteetti-

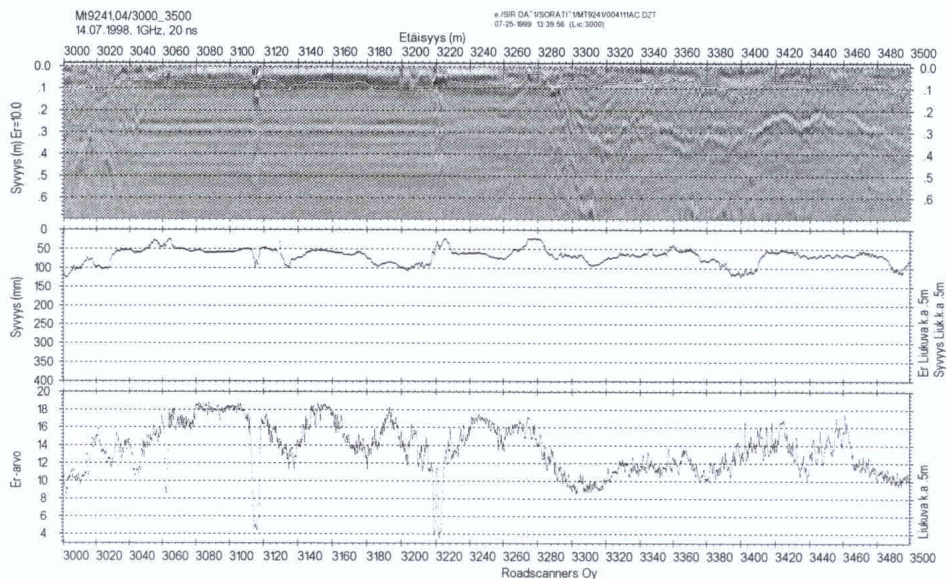
informaatiota tuottaviin harmaasävy- tai väritulosteisiin. Kuvat 1 ja 2 antavat hyvän esimerkin tutkatulosteiden kehittymisestä. Näissä kuvis-sa Mt 9241 Simo-Ylikärppä 1.5 GHz:n maavasteantennin mittaustulokset on esitetty perinteisellä tavalla ja uusimpia signaalin prosessointiohjelmia hyväksikäyttäen.



*Kuva 2. Kuvan 1 maatutkadata taustan poiston jälkeen ja tulostettuna harmaasävyasteikolla.*

Uusia mahdollisuuksia sorateiden kulutuskerroksen tutkimuksiin toivat niin- ikään ilmapaste-päällystetutka-antennit, joilla materiaalin sähköisten omi- naisuuksien muuttumisesta aiheutuvaa soimista ei esiinny. Ilmapasteanten- nien etuna on lisäksi se, että mittaussnopeus on suurempi, koska antenni ei ole kontaktissa tien pintaan ja se, että sen avulla voidaan mitata kulutusker- roksen pinnan dielektrisyttä pintaheijastemenetelmällä (Maser ja Scullion 1991, Roimela 1997). Ilmapasteantennien ongelmana sorateilla on kuitenkin maavasteantenneja huonompi syvyyssulottuvuus. Kuvassa 3 on esitetty il- mavasteantennin tuloste samalta jaksolta maantieltä 9241 kuin kuvissa 1 ja 2.





Kuva 3. 1.0 GHz:n kartiotorvantennilla mitattu, prosessoitu ja tulkittu soratien kulutuskerroksen paksuus ja dielektrisyys (Er-arvo). Mt 9241 Simo as. – Ylikärppä, tieosa 4, 3000 – 3500 m.

Ensimmäiset testit kulutuskerroksen paksuuden määrittämiseksi maatutkalla tehtiin v. 1996 Lapin tiepiirissä Rovaniemen ja Kemijärven alueilla, jolloin 1.0 GHz:n ilmastuantennilla mitattiin koeteiden kulutuskerrosten paksuus ja pinnan dielektrisyys. Vaikka tutkimustulosten analysoinnissa oli ongelmia rohkaisivat tulokset jatkamaan testejä. Mielenkiintoinen havainto tuolloin oli, että etenkin sorateiden kulutuskerrosten pinnan dielektrisyysarvot näyttivät korreloivan havaitun tierungon kosteustilan ja kulutuskerroksen kunnon kanssa.

Lisämahdollisuuksia kulutuskerroksen paksuuden tutkimuksiin toi Tielaitoksen Konsultoinnin maatutkaryhmälle keväällä 1998 hankittu uusi 1.5 GHz:n maavasteantenni, jolla laajakaistaisen pulssinsa ansiosta on erinomainen pintaresoluutio ja sitä voidaan käyttää jopa alle 20 mm:n paksuisten kulutuskerrosten mittauksiin. Antennia käytettiin aluksi muun muassa Mn/ROAD koetietutkimuksissa Minnesotassa ja se osoittautui erinomaiseksi välineeksi kulutuskerroksen paksuuden mittauksiin.

## 2.2 Kulutuskerroksen sähköiset ja mekaaniset ominaisuudet

Kulutuskerroksen leikkauslujuuteen ja tilavuusmuodonmuutoksiin vaikuttaa materiaalisissa vallitseva negatiivinen ja positiivinen huokosvedenpaine. Negatiiviseen huokosvedenpaineeseen liittyy läheisesti suction ilmiö (imupaine), joka kuvaa termodynaamista suuretta, Gibbsin vapaata energiaa, ja joka aiheuttaa vetojännitystä eli imupainetta maapartikkelien välisessä huokosvedessä. Kokonais-”suction” koostuu pääasiassa kahdesta komponentista, jotka ovat matric suction ja osmotic suction. Matric suction, liittyy materiaalien pintaominaisuuksiin ja se on tiemateriaaleissa lähinnä hienoaaines-

määrän funktio. Osmotic suction liittyy huokosveden kemiallisiin ominaisuuksiin ja sen määrään vaikuttaa mm. huokosvedessä olevat suolat ja hienoaineksen kationinvaihtokapasiteetti (Saarenketo 1998).

Kulutuskerroksen suctionarvolla, jota mm. maatutkalla mitattava dielektrisyys kuvaa, voidaan olettaa olevan optimialueet sekä kuivarunkoisille, kostearunkoisille että routiville sorateille. Suction-mittauksilla selvitetään, syntyykö kulutuskerroksessa riittävästi negatiivista huokosvedenpainetta sitomaan kiviaines siten, että kulutuskerroksen pinta on tasainen ja ettei pölyämistä esiinny. Toisaalta liiallinen suction aiheuttaa sen, että sateella kulutuskerros imee liikaa vettä, jolloin dynaamisen kuorman alla syntyy po-sitiivista huokosvedenpainetta ja materiaali deformatuu tai muuttuu liuk-kaaksi. Liiallinen suction vaikuttaa myös materiaalin routivuuteen ja korkeilla dielektrisyysarvoilla on yhteys sulamisvaiheessa tapahtuviin muodonmuutoksiin.

Saarenketo ja Scullion (Saarenketo 1995, Saarenketo ja Scullion 1996, Scullion ja Saarenketo 1997) kehittivät Texas Transportation Institutessa murskeiden suctionominaisuuksien tutkimuksiin imupainekokeen (Tube Suction Test), jolla mitataan sitä vapaan energian määrää, jonka tasapainottamiseksi murske imee vettä ympäristöstään, jos sitä on saatavilla. Tube Suction testi ottaa huomioon sekä matric suction että osmotic suction imupaineen ja samalla se huomioi mm. tiiviysasteen vaikutuksen veden virtausnopeuteen. Korkeasta imupaineesta johtuvaa vesipitoisuuden kasvua seurataan mittaamalla pohjasta veden kanssa kontaktissa olevan murskenäytteen pinnan dielektrisyttä ajan funktiona (ks. kuva 8). Dielektrisyys puolestaan kuvaa materiaalin sisältämän vapaan veden määrää. Imupainekokeen suoritus on kuvattu tarkemmin Seppo Ylitapion insinöörityössä (Ylitapio 1997).



### 3 TUTKIMUSKOHEET JA TEHDYT TUTKIMUKSET

#### 3.1 Hanketason tutkimukset: Mt 9241 Simo as. – Alakärppä

Projektitason maatutka- ja materiaalitutkimusten päätutkimuskohteeksi valittiin Simon kunnassa sijaitseva soratie Mt 9241 Simo as. – Alakärppä. Maatutkamittauksilla selvitettiin kulutuskerroksen paksuutta, ja tuloksia verrattiin referenssitietoihin. Lisäksi mittaustuloksista analysoitiin myös dielektrisyysinformaatio ja arvioitiin suolan aiheuttaman signaalin vaimenemisen merkitystä.

Simon soratiekohteen tutkimukset aloitettiin 14.7.1998 maatutkamittauksilla, joissa 1.5 GHz maavasteantennilla ja 1.0 GHz:n ilmastantennilla tutkittiin sorateiden kulutuskerroksen paksuutta tien oikean kaistan ulkouran kohdalta. Lisäksi ilmastantennin mittaustuloksista laskettiin kulutuskerroksen pinnan dielektrisyys. Tutkimuksessa mitattiin tieosien 2, 3, 4 ja 5 sora-tieosuudet.

Maatutkaluotauksen perusteella valittiin kultakin tieosalta 1-2 km:n välein referenssipisteet, joista Rovaniemen Konsulttiyksikön Georyhmä mittasi kulutuskerroksen paksuuden ja otti näytteet rakeisuusanalyysia sekä hienoaineksen veden adsorption mittausta varten. Näytteet analysoitiin Konsultoinnin Rovaniemen keskuslaboratoriossa.

Kolmannessa vaiheessa valittiin maatutkamittausten, laboratoriotutkimusten ja kenttätarkastelun perusteella tieosilta erityyppisiä, tierungoltaan ja geometrialtaan homogeenisiä koeosuuksia, joille suunniteltiin koerakenteet. Valituilta koeosuuksilta otettiin Rovaniemen Georyhmän toimesta ja tuotannon tiehöylää apuna käyttäen näytteet laboratoriossa tehtäviä koesuhteutuksia ja imupainekokeita varten (kuva 4). Osasta näytteistä määritettiin myös suolapitoisuudet Konsultoinnin Helsingin laboratoriossa. Tiehöylää apuna käyttäen mitattiin myös kulutuskerrosten paksuudet tien poikkileikkauksilta kahdesta pisteestä kultakin koeosuudelta (kuva 4). Myöhemmin näitä mittaustuloksia ei ollut maatutkatulkinnassa käytettävissä ja niitä vertailtiin tässä raportissa maatutkalla mitattuihin paksuuksiin.

Edellä lueteltujen tutkimusten perusteella laadittiin kullekin koeosuudelle suhteutussuunnitelma, jossa on huomioitu materiaalien rakeisuuksien lisäksi uuteen materiaaliin suhteutettavan vanhan kulutuskerroksen paksuus. Lisäksi yhdessä koeosiossa kokeiltiin erittäin paksun, mutta rakeisuudeltaan huonon vanhan kulutuskerroksen siirtämistä toisaalle, jossa se suhteutettiin uuden murskeen kanssa. Näiden koeosiosien tutkimustulokset raportoidaan myöhemmin erikseen.





Kuva 4. Kulutuskerrospaksuustutkimus ja näytteenotto, Mt 9241, to 4\_3400 m, vasen kaista.

### 3.2 Verkkotason selvitykset: Kemin ja Karstulan sorateiden kulutuskerrostutkimukset

Tieverkkotason tutkimuskohteiksi valittiin otos Kemin sorateita Lapin tiepiirissä ja Karstulan alueen sorateita Keski-Suomen tiepiirissä. Tutkitut tieosat olivat seuraavat:

#### Kemin tmp

Mt 923	to 004-008	Sompujärvi-Lehmikumpu-Tervola	23.9 km
Mt 9231	to 001-001	Lehmikumpu-Koivu	9.2 km
Pt 19540	to 002-003	Liakka-Könölä	16.7 km
Pt 19564	to 001	Arpela-Aapajärvi	9.4 km
Pt 19587	to 001	Könölä	7.4 km
Pt 19615	to 001	Aapajärvi-Palovaara	6.8 km
Pt 19645	to 004-006	Kätkävaara-Pisa	19.9 km
Pt 19649	to 001-002	Loue-Kätkävaara	8.0 km
Yhteensä			101.3 km

#### Karstulan tmp

Pt 16867	to 03-04	Ruukki	5.8 km
Pt 16861	to 03-04	Haapalahti-Autio	11.2 km
Pt 16863	to 01-04	Kortejärvi-Vehkaperä	18.6 km / 14.1 km
Pt 16869	to 01	Nurmijoki	3.7 km / 3.3 km
Pt 16871	to 01-02	Koskimäki-Tenhola	14.7 km / 14.6 km
Pt 16877	to 01-03	Tuuliharju-Kumpula	15.1 km / 14.6 km
Pt 16879	to 01-02 920	Kumpula-Viirumäki	7.8 km
Pt 16237	to 03-05	Möttönen-Oikari	16.7 km / 15.9 km
Pt 16830	to 01-02	Vastinki-Hietaharju	12.1 km
Yhteensä			105.8 km / 99.4 km
			(kok.pit.) (soratietä)

Kemin ja Karstulan sorateiden kulutuskerrostutkimukset aloitettiin 14.5.1998 Simon tutkimusten yhteydessä mittaamalla Mt 923 Sompujärveltä Tervolaan 1.0 GHz:n kartiotorviantennilla. Suurin osa Kemin tiemestaripiirin tutkimuksista tehtiin syys-lokakuussa 1998. Karstulan soratiemittaukset tehtiin yhtäaikaan molemmilla antennilla 14.-18.9.1998. Näistä teistä Pt 16863 (Kortejärvi-Vehkaperä) mittaustulokset tuhoutuivat prosessointivaiheessa ja tämä tieosa jouduttiin jättämään pois tulosten vertailusta.

Verkkotason soratietutkimuksissa valittiin tulkittavaksi tutkadataksi 1.0 GHz:n ilmastiantennilla tehtyjen mittausten aineisto. Se oli Mt 9241 Simo - Ylikärppä projektitason testeissä osoittautunut laadultaan vähintään yhtä hyväksi kuin 1.5 GHz:n data ja mittausteholtaan huomattavasti paremmaksi (ks. myös 4.1.5.). Mittaustulosten prosessoinnissa ja tulkinnessa käytettiin samaa tekniikkaa kuin päällystetutkatulosten tulkinnessa: aluksi mittaustulokset skaalattiin, sitten suoritettiin pinnantasointi ja taustanpoisto sekä pinnan dielektrisyysarvon laskenta ja lopuksi varsinainen tulkinta.

Soratien kulutuskerrosten paksuuden tulkinnessa käytettiin kerrosten dielektrisyyslaskennassa heijastustekniikalla mitattua dielektrisyystietoa. Kulutuskerroksen pohjaheijasteen määrittämisessä käytettiin näytteenottoon perustuvaa referenssitietoa, jonka pohjalta saatiin karkea käsitys kulutuskerroksen vahvuudesta. Mt 9241 tutkimuksista saatujen kokemusten perusteella ei maatutkatulkinnessa kuitenkaan pyritty tietoisesti tulkitsemaan rajapintaa juuri referenssikairauksen osoittaman syvyyden kohdalle, vaan referenssituloksia käytettiin vain suuntaa antavina. Siksi kairauksia voitiin käyttää myös arvioitaessa mittaustulosten tarkkuutta. Kemin sorateiden referenssitutkimukset teki maatutkaryhmä ja Keski-Suomen tiepiiri toimitti Karstulan tiemestaripiirin referenssitiedot tutkaryhmälle.

Kulutuskerrosten GIS-karttapohjaisessa paksuusluokituksessa käytettiin taulukossa 1 kuvattuja kriteereitä:

*Taulukko 1. Sorateiden kulutuskerroksen paksuusluokitus verkkotason tutkimuksissa.*

Paksuus (mm)	Kommentti / toimenpiteet
< 50	Liian ohut kulutuskerros, sorastuksen tarve
50 – 80	Optimaalinen kulutuskerrospaksuus, ei toimenpiteitä
80 – 120	Hieman liian paksu kulutuskerros, lisäsorastus harkittava tapauskohtaisesti
120 – 150	Paksu kulutuskerros, pintakelirikkovaara etenkin kostearunkoilla teillä, joissa dielektrisyys on korkea.
> 150	Liian paksu kulutuskerros, kelirokkovaara, voi deformoitua pahasti myös sateiden jälkeen. Jos dielektrisyys on korkea, tulisi kerrosta ohentaa / karkeuttaa.

Sorateiden kulutuskerroksen dielektrisyteen perustuvassa luokituksessa käytettiin taulukossa 2 kuvattuja luokituskriteereitä.

*Taulukko 2. Sorateiden kulutuskerroksen laadun luokitus dielektrisyden perusteella.*

<b>Dielektrisyysarvo</b>	<b>Kommentti / toimenpiteet</b>
< 8	Kulutuskerroksen suction on liian pieni, pölyämisvaara ja kerros kuluu nopeasti. Hienoaineksen lisäystä tai suolan käyttöä harkittava.
8 – 12	Optimaalinen kulutuskerroksen kosteus: alempi kosteusikuna. Dielektrisyysarvo sallii lisäsorastuksen ja hienoainesta voidaan myös hieman lisätä
12 – 16	Optimaalinen kulutuskerroksen kosteus, ylempi kosteusikuna. Sorastuksen suhteutuksessa kiinnitettävä hienoaineksen määrään huomiota. Tien kuivatus tulisi tarkistaa
> 16	Kulutuskerros sitoo liikaa vettä, pintakelirikkovaara, kerros on sateella liukas. Kulutuskerroksen hienoaineksen määrä ja suolapitoisuus tulisi tarkistaa, samaten kuivatuksen toimivuus.

Taulukoiden 1 ja 2 kriteerit on laadittu eri tutkimustulosten, raportin laatijan kokemusten ja kentältä tehtyjen havaintojen perusteella ja niitä tullaan tarkistamaan uusista tutkimuksista saatujen kokemusten perusteella.



## 4 TUTKIMUSTULOKSET

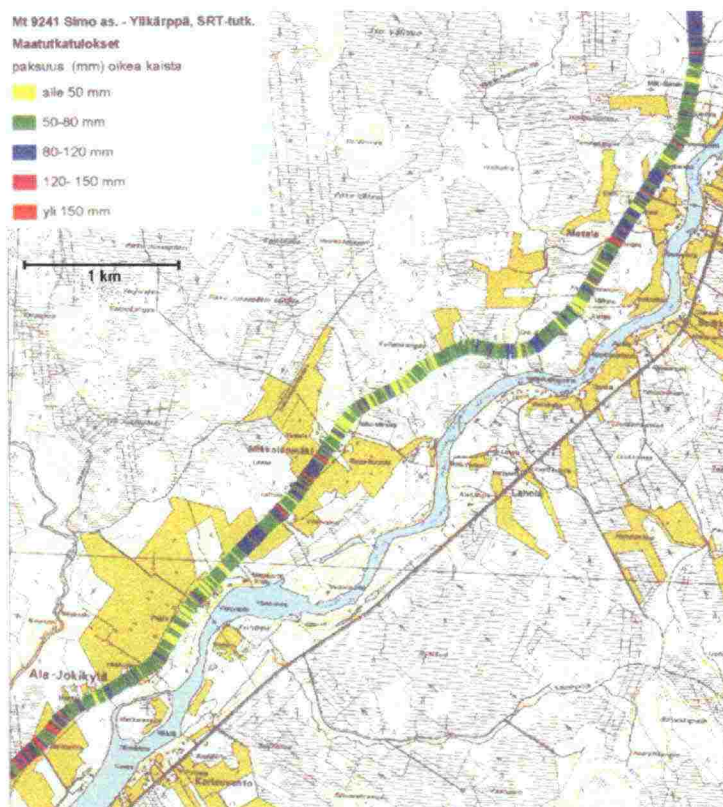
### 4.1 Mt 9241 Simo as. - Ylikärppä

#### 4.1.1 Kulutuskerroksen paksuus ja dielektrisyys

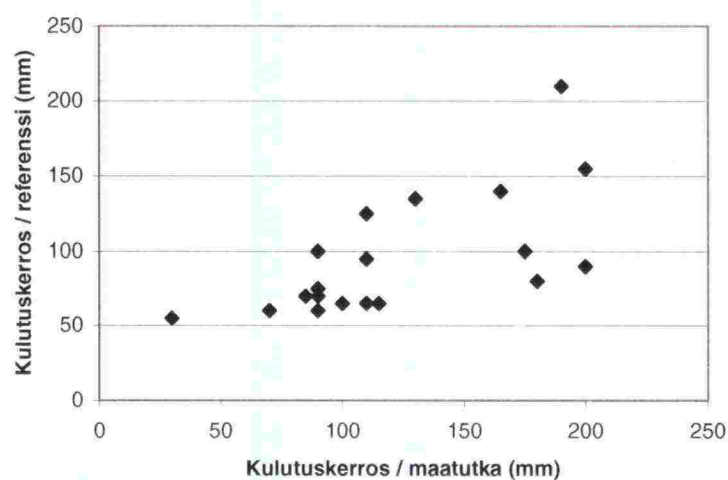
Maantien 9241 Simo as. - Ylikärppä kulutuskerroksen keskimääräinen paksuus oli 77 mm ja keskihajonta oli 6 mm. Kuvan 5 kartalla on esitetty kulutuskerroksen paksuuden vaihtelut tieosien 3 ja 4 alueilla.

Kuva 6 osoittaa, että maatutkalla mitatut tulokset korreloivat tyydyttävästi mitattujen referenssipisteiden kanssa. Maatutkadatasta lasketut kulutuskerroksen paksuuden keskiarvot ovat hieman pienempiä kuin referenssipisteiden keskiarvot. Tämä voi johtua siitä, että paksuuslaskennassa käytettiin pinnan dielektrisyttä ja kulutuskerroksen alempien osien kosteustila ei ole sama kuin pinnan kosteus. Toinen syy saattoi olla se, että referenssipisteiksi haettiin erilaisia maatutkaheijastetyyppejä ja näin ollen otos ei ollut ehkä tilastollisesti edustava.

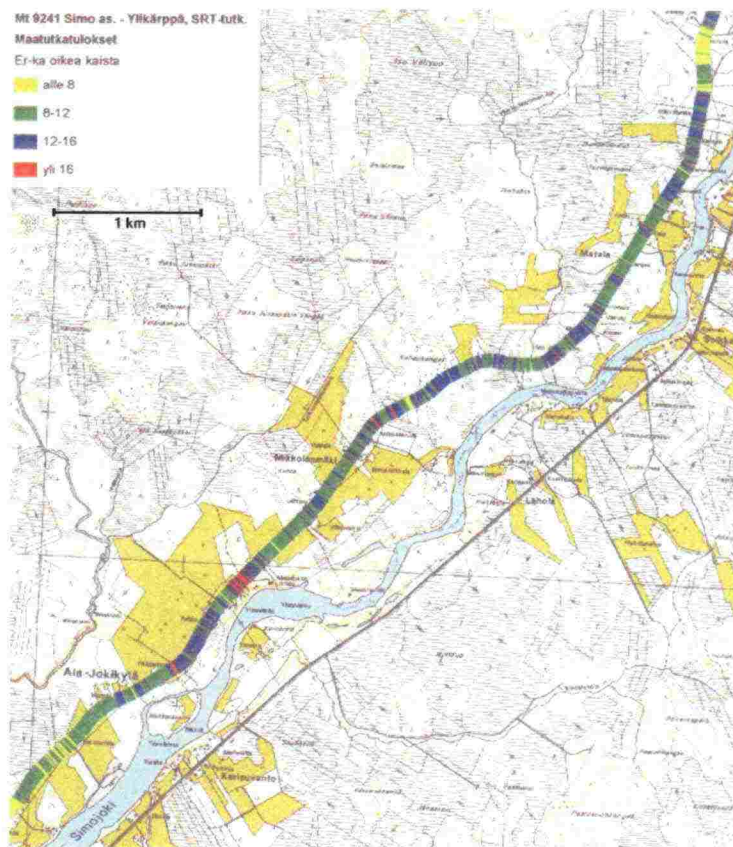
Kulutuskerroksen dielektrisyysarvojen keskiarvo oli 10.5 ja keskihajonta 0.8. Dielektrisyysarvojen jakauma tieosilla 3 ja 4 on esitetty viiden metrin keskiarvotuloksina GIS-kartoilla kuvassa 7. Korkeat dielektrisyysarvo liittyvät etenkin asutuksen läheisyyteen esimerkiksi Ala-Jokikylässä ja tien lopussa Ylikärpässä, mikä osoittaa että suolaa on käytetty reilusti talojen kohdilla.



Kuva 5. Mt 9241 Simo as. - Ylikärppä soratien kulutuskerroksen paksuus. tieosilla 3 ja 4.



Kuva 6. Maatutkalla mitatun kulutuskerroksen paksuuden suhde oikeasta ulkourasta mitattuihin referessipaksuuksiin, MT 9241 (ks. Myös kuvat 24 – 27).



Kuva 7. Mt 9241 Simo as. – Ylikärppä soratien kulutuskerroksen dielektrisyysdet tieosilla 3 ja 4

#### 4.1.2 Kulutuskerroksen rakeisuus

Kulutuskerroksesta tehty rakeisuusanalyysit osoittivat, että kulutuskerros oli rakeisuudeltaan lähes samanlainen kautta koko tutkitun tien. Taulukossa 3. on esitetty eräiden seulojen läpäisyprosentteja:

Taulukko 3. Yhteenveto Mt 9241 kulutuskerroksen rakeisuustuloksista

Tieosa	0.063 mm (%)	2 mm (%)	11.2 mm (%)
9241_02	14.6	60.6	94
9241_03	16.6	62.7	96
9241_04	14.9	56.9	94
9241_05	15.6	58.9	94

Rakeisuusanalyysit osoittavat että Mt 9241 kulutuskerroksessa on ongelmana karkean kiviaineksen 8-18 mm:n puute, joka heijastuu koko rakeisuuskäyrään. Tämä ongelma on erittäin tyypillinen Lapin soratiestöllä.



#### 4.1.3 Kloridipitoisuudet

Sorateiden kulutuskerroksen kloridipitoisuuksia mitattiin sekä ensimmäisen että toisen näytteenottovaiheen näytteistä. Tutkimustulokset on esitetty seuraavassa taulukossa:

*Taulukko 4. Kulutuskerroksen kloridipitoisuudet ja sähkönjohtokyky*

Tieosa/paalu (m)	Kloridipitoisuus (mg/kg)	Sähkönjohtokyky ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )
2_2668	1876	1472
3_1100	78	205
3_2980	4890	1900
3_3800	973	688
4_3200	1063	1016
4_3700	2809	1338
5_3600	84	103
5_4220	152	128
5_4800	1144	152

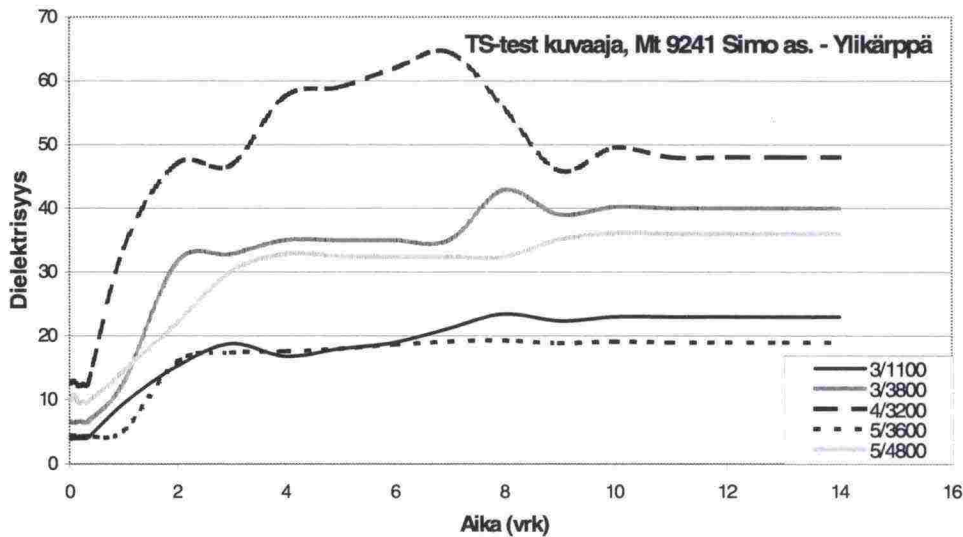
Tulokset osoittavat, että kloridipitoisuudet kulutuskerroksessa vaihtelevat erittäin runsaasti ja vaikka Suomessa kloridipitoisuuksille ei ole asetettu raja-arvoja, voidaan yli 500 mg/kg arvoja pitää liian suurena ja yli 2000 mg/kg arvoja vaarallisen suurena. Tällainen määrä suolaa kykenee imemään itseensä kosteissa olosuhteissa osmoottisen imupaineen avulla niin paljon vettä, että siinä tapahtuu turpoamista ja tilavuuden kasvua, joka puolestaan heikentää rakennetta merkittävästi.

#### 4.1.4 TS-testin tulokset

Imupainekokeita eli TS-testejä tehtiin sekä tieltä otetuille kulutuskerrosnäytteille, suhteutukseen käytetyille kulutuskerrosmateriaaleille että suhteutetuille uusille murskeille. Kulutuskerroksesta otettujen näyteteiden TS-testin tulokset on esitetty kuvassa 8 sekä taulukossa 5.

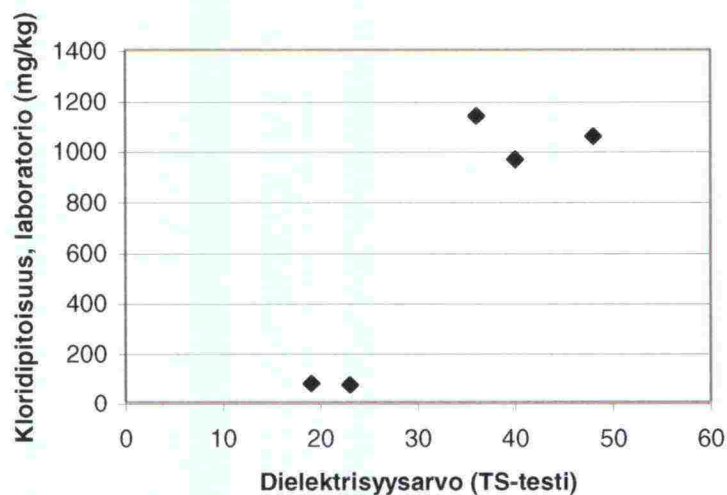
*Taulukko 5. MT 9241 Simo as.-Ylikärppä Tube Suction Test tulokset*

Näyte	(%) <0.063 mm	vesipit. (paino%)	Er	Cond ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )
3_1100	15.9	5.07	23	280
3_3800	15.8	6.52	40	> 1000
4_3200	14.8	6.51	48	781
5_3600	16.1	5.35	19	186
5_4800	14.6	5.03	36	853

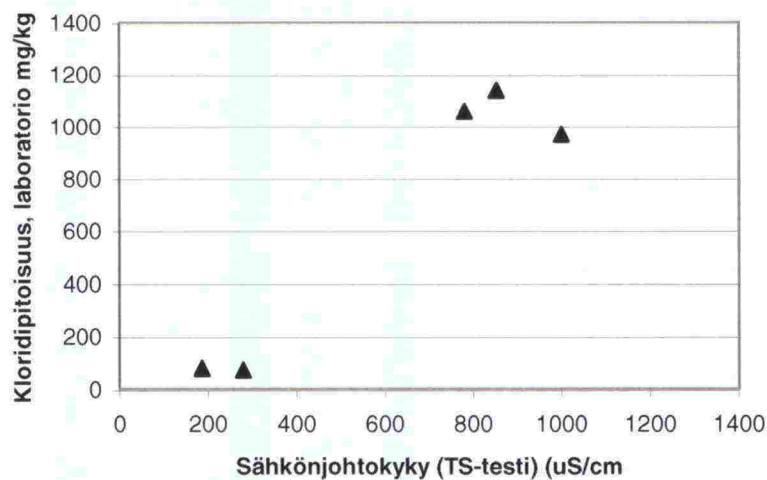


Kuva 8. Mt 9241 Simo as. – Ylikärppä soratien kulutuskerroksnäytteiden Tube Suction Test tulokset

Kuvissa 9 ja 10 on vertailtu TS-testin tuloksia näytteiden kloridipitoisuuksiin. Koska taulukon 5 mukaisesti näytteiden hienoainespitoisuus on lähes sama, kuvat osoittavat selkeästi suolapitoisuuden vaikutuksen osmoottisen imupaineen määrään. Vaikka aineisto on suhteellisen pieni voidaan päätellä, että noin 15 %:n hienoainespitoisuudella yli 400 mg/kg kloridipitoisuudet (ks. taulukko 4) nostavat imupaineen erittäin korkeaksi. Kuvassa 11 näkyy hyvin korkean suction arvon vaikutus näytteessä 3\_3800, jossa pinta on liettynyt jo kokeen aikana. Nämä näytteet paisuivat kokeen aikana myös niin, että niiden purkaminen tuotti hankaluuksia. Tällainen materiaali tulee olemaan satteella erittäin liukas ja siinä on todennäköisesti pahoja deformaatio-ongelmia keväällä roudan sulamisvaiheessa.

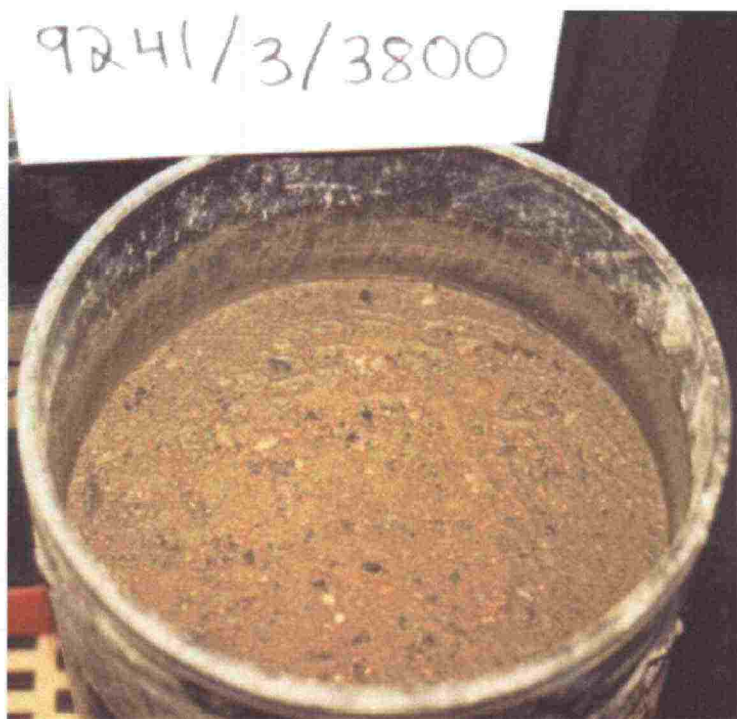


Kuva 9. Mt 9241 Simo as. – Ylikärppä soratien kulutuskerrosnäytteiden Tube Suction Test dielektrisyysarvojen suhden näytteiden kloridipitoisuuteen.



Kuva 10. Mt 9241 Simo as. – Ylikärppä soratien kulutuskerrosnäytteiden Tube Suction Test sähköjohtokykyarvojen suhde näytteiden kloridipitoisuuteen





*Kuva 11. Tube Suction-testin aikana turvonnut ja liejuuntunut sora-tien kulutuskerrosnäyte paalulta 3\_3800.*

#### **4.1.5 Maatutkamittaus eri antenneilla**

Kokemukset maantien 9241 Simo as. – Ylikärppä maatutkamittauksista puoltavat 1.0 GHz:n antennin käyttöä sora-tien kulutuskerroksen tutkimuksessa verrattuna 1.5 GHz:n maavasteantenniin. Vaikkakin maavasteantennilla saadaan lähetettyä energiaa enemmän kulutuskerrokseen, ei syvyyssulottuvuudessa havaittu merkittäviä eroja. Suurimpana haittapuolena 1.5 GHz:n antennin käytölle oli, että antenni pomppi pienten kivien vaikutuksesta kulutuskerroksen pinnalla ja vaihteleva "coupling" aiheutti tutkaprofiiliin epämääräisiä piikkejä. Antennin pomppiminen rikkoo myös herkästi antennin ja ajonopeus 1.5 GHz:n antennilla voi olla korkeintaan 3-5 km/h, kun 1.0 GHz:n ilmastantennilla ajonopeus voi olla 30-40 km/h, jolloin tutkimusten hinta myös laskee mittauksen osalta merkittävästi. Ilmastantennin etuna on edelleen, että samalla saadaan arvokasta tietoa kulutuskerroksen laadusta.

## 4.2 Verkkotason tutkimukset

### 4.2.1 Kemin tiemestaripiirin kohteet

Taulukossa 6 on esitetty yhteenveto Kemin tiemestaripiirin sorateiden kulu-  
tuserrosten mittaustuloksista.

*Taulukko 6. Yhteenveto Kemin tiemestaripiirin tutkittujen sorateiden kulu-  
tuserroksen dielektrisyysarvoista ja kulutuserroksen paksuusmittauksista.*

Tie	Dielektr. Ka	Dielektr. kh	Paks. ka (mm)	Paks. kh (mm)
Mt 923 Sompujärvi	11.5	1.0	55.3	5
Mt 9231 Lehmikumpu	11.5	3.2	55	21
Pt 19540 Liakka	13.0	3	54	35
Pt 19564 Arpela	10.3	2.5	53	30
Pt 19587 Könölä	11.9	2.2	43	24
Pt 19615 Aapajärvi	15.4	4.1	46	17
Pt 18237 Kätkävaara	12.4	3.1	47	25
Pt 19649 Loue	11.8	2.8	82.9	51

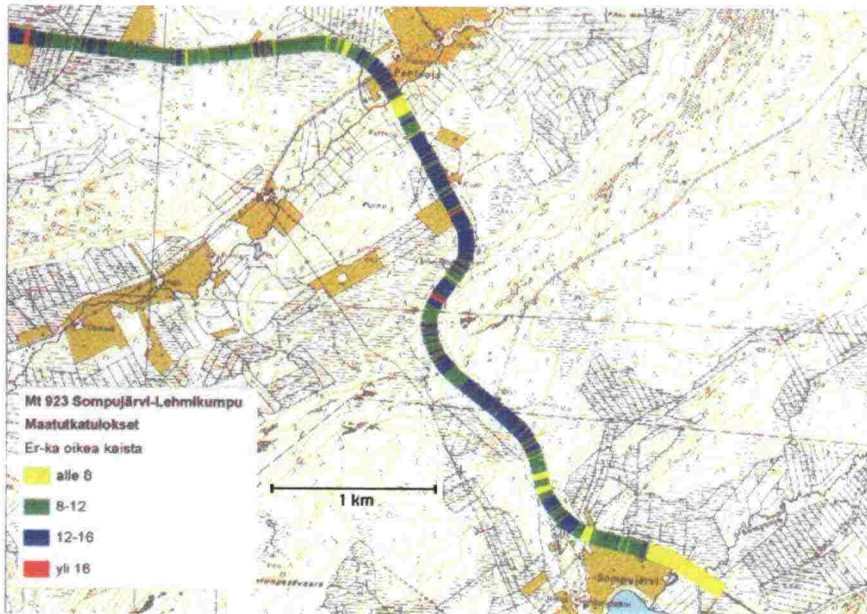
#### Mt 923 Sompujärvi-Lehmikumpu-Tervola,

to 004-008

Maantien 923 Sompujärvi-Lehmikumpu-Tervolan dielektrisyysarvojen keski-  
hajonta oli pienin kaikista koeteistä, mikä osoittaa sen että tien on lähes  
kauttaaltaan ns. rakennettu tie ja että tien kulutuserroksen suhteutus on  
tehty huolellisesti. Dielektrisyys arvot vaihtelivat välillä 10-15 ja mittaushet-  
kellä tehtyjen visuaalisten havaintojen perusteella erittäin hyvälaatuisen ja  
kiinteän kulutuserroksen (tielaitoksen luokitus 5) kohdalla dielektrisyysarvot  
vaihtelivat välillä 11-14 (kuvat 12 ja 13). Kuivia tieosia, joissa dielekt-  
risyysarvo oli < 8 esiintyi alkuosassa lähinnä kuivien kangasmaiden huip-  
puosissa ja kohteissa, joissa tietä oli vastikään parannettu. Pitempiä tiejak-  
soja, joissa kulutuserros oli liian kostea tavattiin Lehmikummun ja Tervolan  
välillä suoalueiden ympäristössä.

Vaikka kulutuserroksen keskipaksuus oli 55.3 mm, tavattiin tiellä etenkin  
Lehmikummun ympäristössä ja Lehmikummun ja Tervolan välillä pitkiä yh-  
tenäisiä jaksoja, joissa kulutuserroksen paksuus oli alle 50 mm ja jotka kai-  
pasivat sorastusta. Pitempiä yli 120 mm:n kulutuserrosjaksoja tavattiin vain  
Jouttiaavan kylän kohdalla tien alkuosassa (kuva 14).

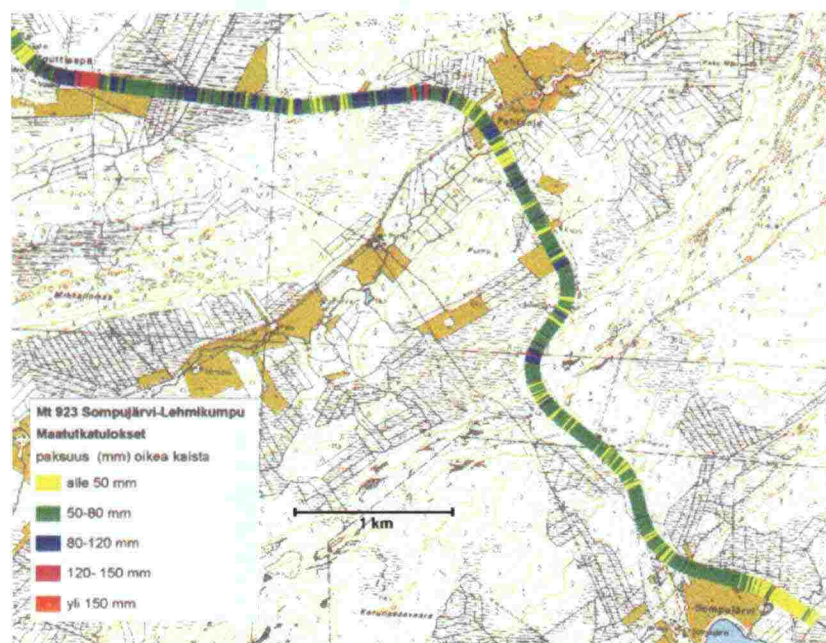




Kuva 12. Mt 923 Sompujärvi – Lehmikumpu – Tervola, kulutuskerroksen dielektrisyysarvot, tieosat 4 ja 5. Tieosan 4 alun alhaisten dielektrisyysarvojen jakso johtuu öljysoran alhaisemmasta dielektrisyydestä.



Kuva 13. Erittäin hyvälaatuinen soratien kulutuskerros, Mt 923 Sompujärvi – Lehmikumpu. Kuva on otettu n. 1.5 km tieosan 4 alusta, jossa dielektrisyysarvot ovat noin 14.



Kuva 14. Mt 923 Sompujärvi – Lehmikumpu – Tervola, kulutuskerroksen paksuus, tieosat 4 ja 5.

#### Mt 9231 Lehmikumpu-Koivu, to 001-001

Maantien 9231 Lehmikumpu - Koivu dielektrisyysarvojen keskihajonta oli huomattavasti suurempi Mt 923 verrattuna ja tiellä esiintyy useita lyhyitä kosteita tiejaksoja. Kulutuskerroksen paksuus oli useissa tiejaksoissa alle 50 mm.

#### Pt 19540 Liakka-Könölä, to 002-003

Paikallistien 19540 Liakka - Könölä dielektrisyysarvot vaihtelivat pääasiassa välillä 10-15, mutta tiellä tavattiin useita jaksoja joissa dielektrisyysarvot olivat lähes 20 ja joissa saattaa olla pintakelirikkovaara. Kuivia jaksoja tavattiin vain Lautamaan vaaran lakiosilla.

Kulutuskerroksen paksuus oli tien alkuosassa pääosin alle 50 mm, paksumpia kerrospaksuuksia mitattiin lähinnä vain kaarteissa ja notkelmissa. Tien loppuosassa, Könölän kylän lähellä, tavattiin paksumpia jaksoja.

Tutkamittausten laatu tällä tutkimuskohteella oli suurimmaksi osaksi erinomainen ja kulutuskerroksen paksuuden lisäksi myös kantavan kerroksen paksuus olisi ollut helppo määrittää.

#### Pt 19564 Arpela-Aapajärvi, to 001

Vaikka paikallistien 19564 Arpela-Aapajärvi dielektrisyysarvojen keskiarvo 10.3 oli Kemin tiemestaripiirin kohteista alhaisin, ei soratieosuuksilla tavattu



pitempiä jaksoja, jossa Er-arvo olisi ollut  $< 8$ . Lyhyitä, kosteampia osuuksia tavattiin myös vain muutamassa alavassa kohteessa, jossa tie siirtyi kuivalta maalta kosteikolle.

Kulutuskerroksen paksuus oli riittävä tien alkuosassa, mutta Korkiamaan kylän jälkeen tiellä esiintyy pitkiä jaksoja, jossa kulutuskerroksen paksuus oli noin 25 mm ja jotka kaipaavat sorastusta.

#### **Pt 19587 Könölä, to 001**

Könölän paikallistien dielektrisyysarvot olivat pääosin välillä 9 – 12 tien alku- ja loppuosassa, mutta Könölän kylän kohdalta paalulta 3700 alkaen Korpijärvelle kulutuskerros oli kosteampaa. Vaarallisen suuria dielektrisyysarvoja mitattiin paaluvälillä 4770 – 4870 m. Tien loppuosassa paalulta 6300 alkaen kulutuskerros oli jälleen homogeenistä ja sen dielektrisyysarvot olivat noin 10, mikä merkitsee että tälle jaksolle voidaan huoletta lisätä hienoainespitoista kulutuskerrosmateriaalia.

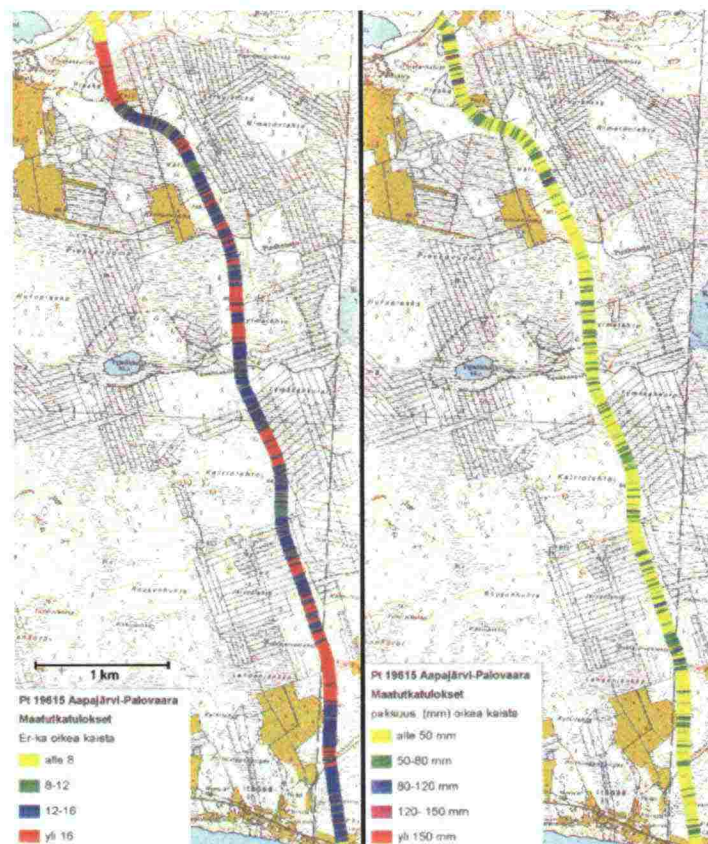
Kulutuskerroksen paksuuden keskiarvo oli 43 mm ja tie kaipaa sorastusta. Ainoastaan tien alkuosassa paaluvälillä 2150 – 2350 ei uutta kulutuskerrosta tarvita.

#### **Pt 19615 Aapajärvi-Palovaara, to 001**

Verrattuna Könölän paikallistien kulutuskerroksen laatuun osoittavat paikallistien 19615 Aapajärvi – Palovaara dielektrisyysmittaukset selkeästi, että tällä tiellä tulee kulutuskerroksen suhteutuksessa varoa hienoaineksen lisäystä. Kulutuskerroksen dielektrisyysarvojen keskiarvo oli 15.4 ja tiellä tavattiin useita jaksoja, joissa dielektrisyysarvot olivat yli 25 (kuva 15). Näin suurilla arvoilla pintakelirikon vaara on ilmeinen ja tie on todennäköisesti kesäisin sateella erittäin liukas.

Korkeat dielektrisyysarvot eivät kuitenkaan johdu kulutuskerroksen paksuudesta vaan kulutuskerros oli lähes koko tiejaksolla paksuudeltaan alle 50 mm ja tarvitsee sorastusta (kuva 15).

Maatutkadatan perusteella voidaan arvioida, että kulutuskerroksen korkeat Er-arvot johtuvat pääosin kostearunkoisesta tiestä ja kulutuskerroksen runsaasta hienoainemäärästä, mutta paikoin korkeiden Er-arvojen syynä on myös runsas suolan käyttö. Tällainen jakso tavattiin esimerkiksi tien loppuosassa paalulta 6350 alkaen, jossa Pieskankankaan sora-alueen läheisyydessä dielektrisyysarvot olivat erittäin korkeat ja suolan käyttöä osoittava signaalin vaimeneminen oli erittäin suurta (kuva 15).



Kuva 15. Pt 19615 Aapajärvi – Palovaara kulutuskerroksen dielektrisyys (vasen kuva) ja paksuus (oikea kuva).

#### Pt 19645 Kätkävaara-Pisa, to 004-006

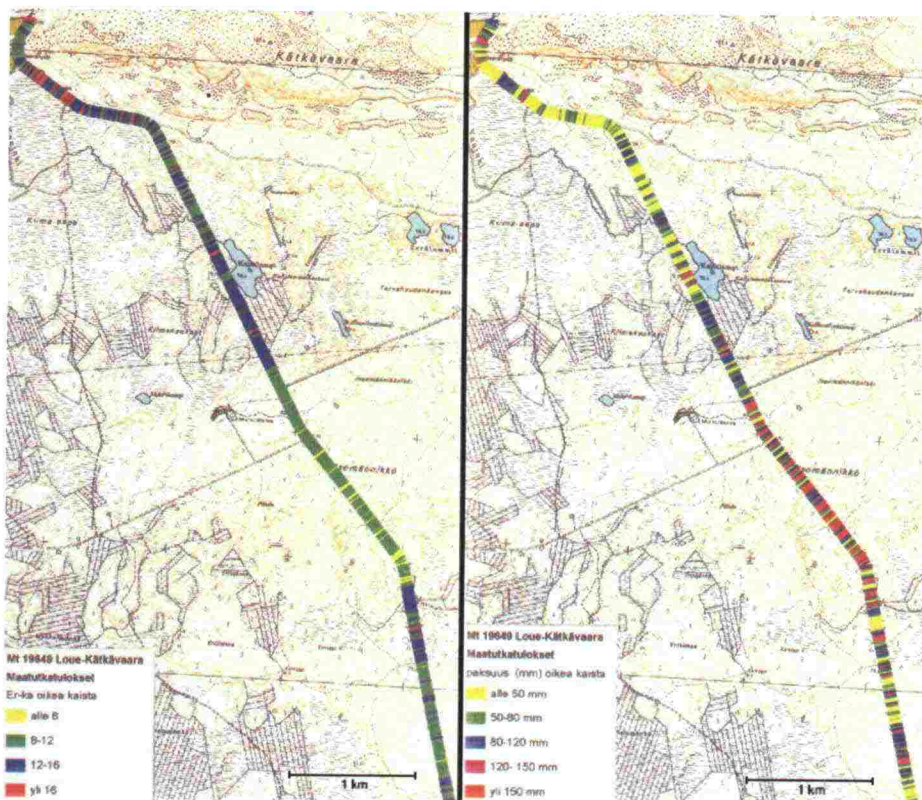
Paikallistien 19645 Kätkävaara – Pisa alkuosassa kulutuskerroksen dielektrisyysarvot ovat suhteellisen korkeita ja tiessä on useita kohtia, joissa arvot ovat yli 16. Korkeat Er-arvot näyttäisivät liittyvän runsaaseen suolan käyttöön, mutta paikoin näkyy viitteitä myös siitä, että arvot kuvastavat sivukaltevassa rinteessä tien alle imeytyvää vettä. Tieosalta 5 paalulta 3650 alkaen tieosan 6 loppuun dielektrisyysarvot laskevat pääosin tasolle 8 – 12, korkeampia arvoja tavattiin ainoastaan alavien soiden kohdilla. Tällä välillä tiehen voidaan lisätä hienoainespitoista kulutuskerrosmateriaalia. Tiellä esiintyy useita yhtenäisiä jaksoja, joissa kulutuskerroksen paksuus on alle 50 mm.

#### Pt 19649 Loue-Kätkävaara, to 001-002

Hyvä esimerkki siitä, miten tien pohjamaan olosuhteet vaikuttavat kulutuskerroksen kosteuteen ja dielektrisyysarvoihin löytyy paikallistien 19649 mitaustuloksissa (kuva 16). Dielektrisyysarvot erittäin korkeat tien pohjoisosassa, Kätkävaaran kupeessa, jossa tie sijoittuu sivukaltevaan ja kosteaan rinteeseen. Kaitalammen ja Saarijärven ympäristössä on kostearunkoisia tieosia, jotka heijastuvat myös kulutuskerroksen dielektrisyysarvoissa. Sen sijaan Isomännikön kuivilla kangasmailla dielektrisyysarvot ovat pääosin välillä 10-12. Isomännikön alueella kulutuskerros oli myös erittäin paksu (ku-



va 16), mikä osoittaa sen, että kulutuskerroksen sitoutumisongelmia on pyritty hoitamaan vahventamalla kulutuskerrosta. Kuva 16 osoittaa myös sen, että Kätkävaaran lähistöllä sijaitsee tieosia, joissa kulutuskerroksen paksuutta tulisi kasvattaa.



Kuva 16. Pt 19649 Loue – Kätkävaara kulutuskerroksen dielektrisyysarvot (vasen kuva) ja paksuus (oikea kuva) tien loppuosassa.

#### 4.2.2 Karstulan tiemestaripiirin kohteet

Taulukossa 7 on esitetty yhteenveto Karstulan tiemestaripiirin kulutuskerroksen maatutkamittaustuloksista.

Taulukko 7. Yhteenveto Karstulan tiemestaripiirin tutkittujen sorateiden kulutuskerroksen dielektrisyysarvoista ja kulutuskerroksien paksuusmittauksi-en tuloksista.

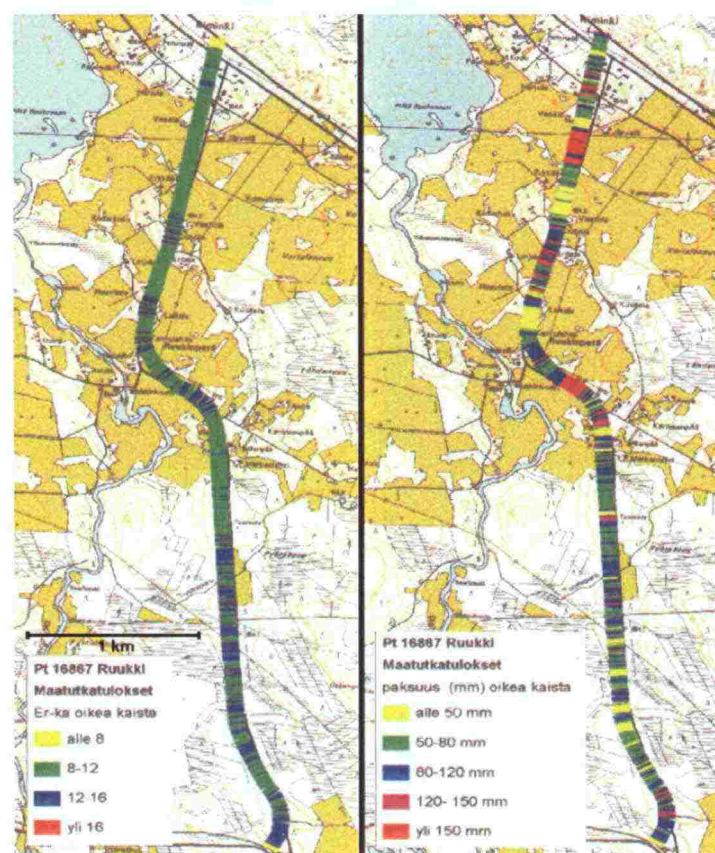
Tie	Dielektr. Ka	Dielektr. Kh	Paks. ka (mm)	Paks. ha (mm)
Pt 16867 Ruukki	11.2	1.5	85	39
Pt 16861 Haapalahti	11.6	1.6	130	57
Pt 16869 Nurmijoki	14.8	2.4	124	49
Pt 16871 Koskimäki	12.4	1.9	113	46
Pt 16877 Tuliharju	14.2	2.8	118	44
Pt 16879 Kumpula	13.7	1.3	150	53
Pt 18237 Möttönen	11.2	1.6	138	56
Pt 16880 Vastinki	10.0	1.2	103	48

### Pt 16867 Ruukki, to 03-04, 5.8 km

Paikallistien 16867 dielektrisyysarvot vaihtelivat varsin tasaisesti välillä 10-12 (kuva 17). Hieman kosteampia osuuksia esiintyi metsäisillä seuduilla, mutta yleisesti ottaen dielektrisyysarvot osoittivat, että kulutuskerroksen suhteutus oli kauttaaltaan varsin onnistunut.

Ruukin paikallistien kulutuskerroksen keskipaksuus oli Karstulan tiemestari-piirin kohteista selvästi alhaisin, yli 120 mm:n osuuksia esiintyi pääasiassa Ruukinperän kylän peltoalueilla (kuva 17). Alle 50 mm:n kerrospaksuudet sijoituivat kukkuloiden alueille.

Maatutkadata oli vaikeammin tulkittavaa alkuosan metsäisillä osuuksilla kuin loppuosalla, jossa kantavan kerroksen paksuuden määrittäminen olisi myös ollut helposti tehtävissä.



Kuva 17. Ruukin paikallistien 16867 kulutuskerroksen dielektrisyys (vasen kuva) ja paksuus (oikea).

### Pt 16861 Haapalahti-Autio, to 03-04

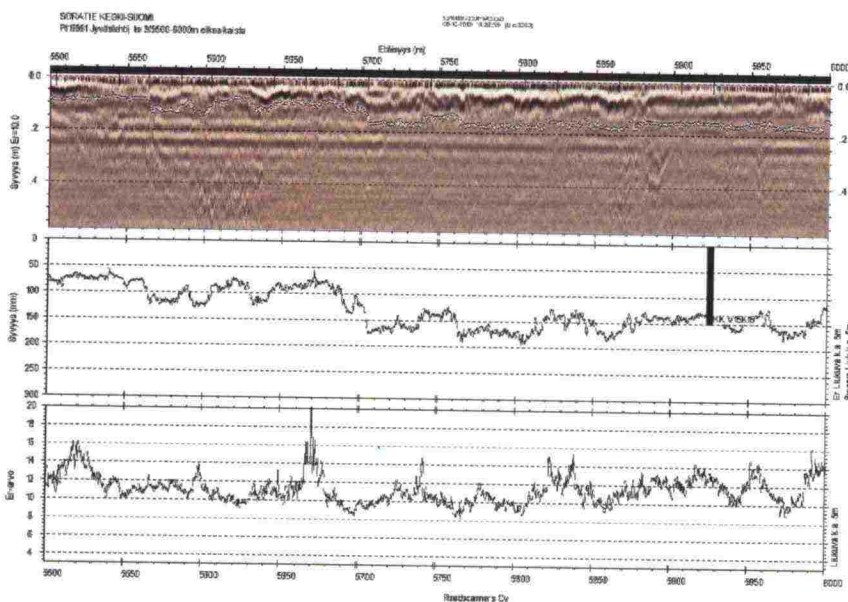
Samoin kuin Ruukin paikallistiellä on Pt 16861 Haapalahti-Aution kulutuskerroksen dielektrisyysarvot hieman korkeammat alkuosan metsäisimmillä osuuksilla kuin Aution kylän peltoalueilla. Kosteusolosuhteet ovat varsin hyvät ja tasaiset, vaarallisen korkeita Er-arvoja mitattiin harjualueella välillä 2300 - 4500 m. Jakson alkuosassa välillä 2300-2550 on tutkaprofiilin mu-



kaan erittäin kostea tiejakso, jossa saattaa esiintyä pintakelirikko-ongelmia. Paalulla 5670 talon kohdalla mitatut korkeat Er-arvot johtunevat suolasta.

Tieosalla 3 paalulta 1900 alkaen lähes tieosan loppuun kulutuskerros on erittäin paksu. Samoin tieosan 4 alkuosassa on pitkä yhtäjaksoinen yli 120 mm paksun kulutuskerroksen alue. Liian ohuita kulutuskerroksia ei tiellä havaittu.

Maatutkadatassa oli kulutuskerroksen yläosassa erotettavissa selkeä rajapinta, joka edustaa muokattavaa kulutuskerrosta (kuva 18). Varsinaisen kulutuskerroksen alapinta oli kuitenkin huomattavasti syvemmällä, jonne rajapinnan tulkitseminen olisi ollut hankalaa ilman referenssitietoa.



Kuva 18. 1.0 GHz:n antennin maatutkaprofiili, syvyystulkinta, referenssitiedot sekä kulutuskerroksen dielektrisyysarvot. Pt 16861, tieosa 3, 5500 – 6000 m.

#### Pt 16869 Nurmijoki, to 01

Nurmijoen paikallistien dielektrisyysarvot vaihtelevat pääosin välillä 12-14, liian kosteita osuuksia esiintyy ainoastaan tieosan lopussa, jossa kulutuskerros oli myös ohuempi kuin muualla. Lisäksi korkeita Er-arvoja tavattiin peltoalueiden ja metsien liittymäkohdissa. Kulutuskerros oli erittäin paksu suurimmalla osalla tietä.

#### Pt 16871 Koskimäki-Tenhola, to 01-02

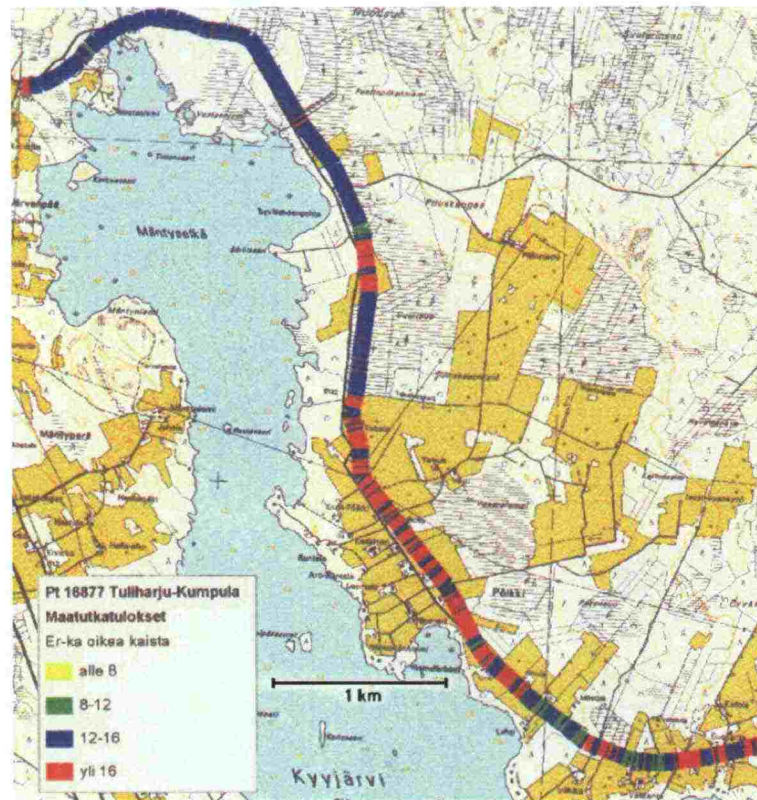
Paikallistien 16871 Koskimäki-Tenhola alkuosassa dielektrisyysarvot vaihtelevat kosteimmilla suoalueilla välillä 14-16 ja kuivemmilla kangasmailla välillä 12-14. Liian korkeita arvoja mitattiin Peuralammin lähellä olevilla peltoalueilla.



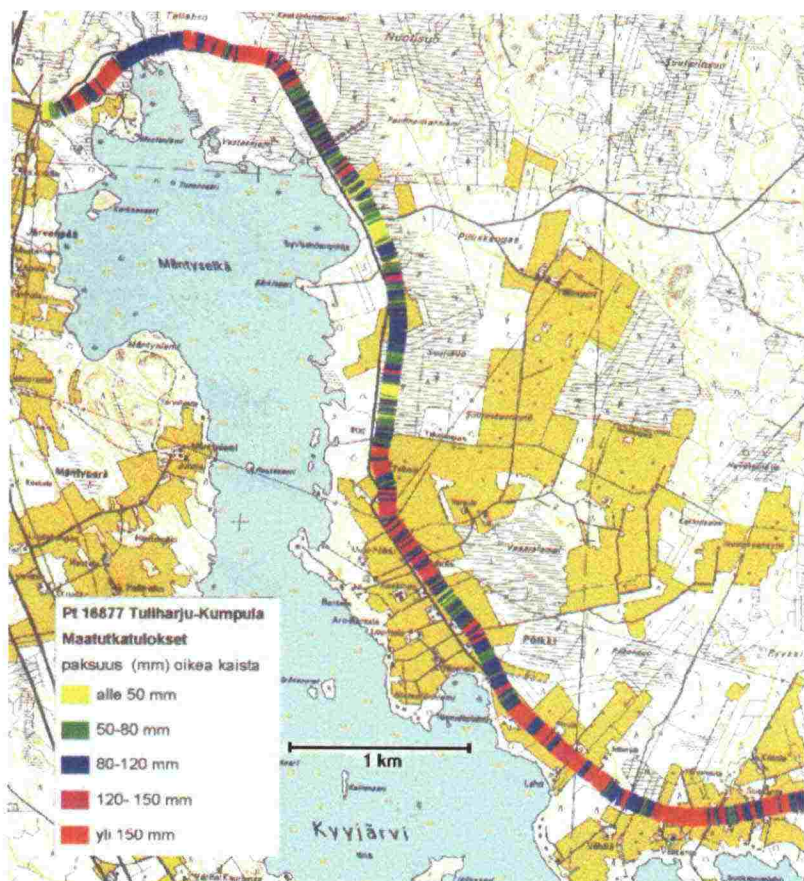
Kulutuskerroksen paksuus vaihteli tällä tutkimuskohteella runsaasti, keskihajonta oli 46 mm. Paksuimmat kulutuskerrokset mitattiin Huumarkankaan – Keskikylän - Peuralammin alueilla sekä tiejakson lopulla. Liian ohuita kulutuskerrosjaksoja tavattiin Sammakkokankaan alueella tien loppuosalla.

#### Pt 16877 Tuuliharju-Kumpula, to 01-03

Paikallistien 16877 Tuuliharju-Kumpula tien alkuosan dielektrisyysarvot olivat verrattain korkeita; metsäisillä osuuksilla ne olivat vielä luokkaa 14-16, mutta Kyyjärven rannan pelto-osuuksilla arvot olivat yli 16 (kuva 19), mitä voidaan pitää liian korkeana. Tien loppuosalla arvot vaihtelivat välillä 10 - 16. Myös tällä tiellä kulutuskerroksen paksuuden hajonta-arvo oli korkea (44 mm). Paksun kulutuskerroksen osuuksia esiintyi pelto-osuuksilla mutta myös metsäisillä osuuksilla (kuva 20). Ohuita kulutuskerroksia havaittiin paikallisesti vain muutamilla tieosilla.



Kuva 19. Pt 16877 Tuuliharju – Kumpula soratien kulutuskerroksen dielektrisyys.



Kuva 20. Pt 16877 Tuuliharju – Kumpula soratien kulutuskerroksen paksuus.

#### Pt 16879 Kumpula-Viirumäki, to 01-02 920

Paikallistien 16879 dielektrisyysarvot ovat korkeita (ka 13.7), mikä merkitsee sitä, että jatkossa hienoineksen lisäämiseen tulee suhtautua kriittisesti. Lisäksi tien kuivatuksen toimivuus tulisi tarkistaa. Kuitenkin kriittisenä rajan pidettäviä yli 16 dielektrisyysarvoja esiintyi suppealla alueella Metsäperän kylän jälkeen Saariahon tilan peltöjen kohdalla. Tien korkeat dielektrisyysarvot johtuvat todennäköisesti erittäin paksusta kulutuskerroksesta (ka 150 mm), joka sitoo tehokkaasti vettä. Ohuempia kulutuskerroksen jaksoja esiintyy tiellä vain Kumpulan kylän ja Metsäperän välisen vaaran lakiosassa sekä Kiuaspuron ympäristössä. Tällä tiellä kulutuskerroksen materiaalin lisäämiseen tulisi suhtautua erittäin kriittisesti.

#### Pt 16237 Möttönen-Oikari, to 03-05

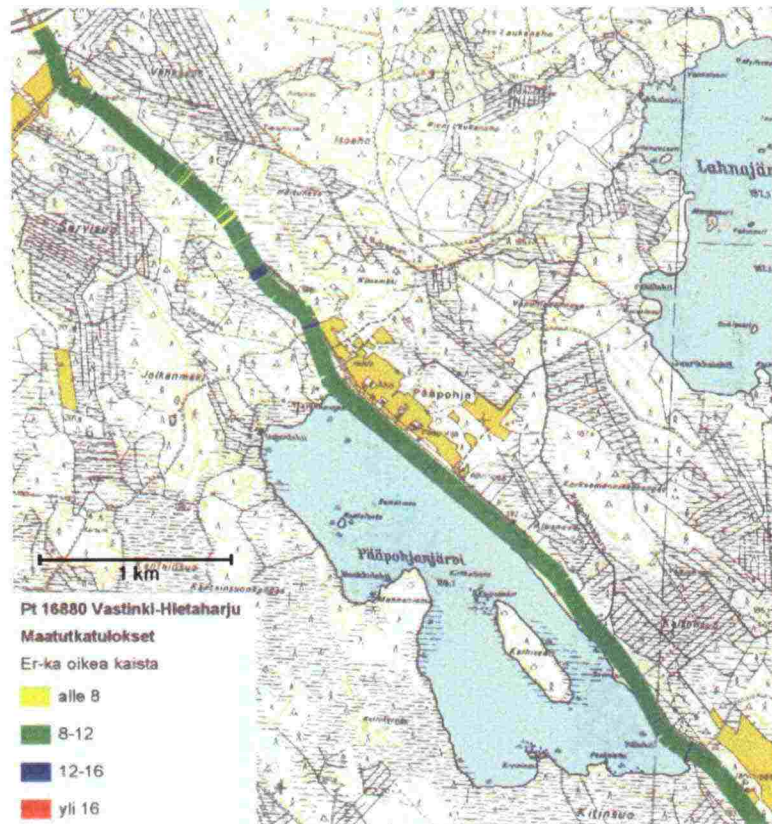
Paikallistien 16237 Möttönen-Oikari soratien kulutuskerroksen suhteutus on onnistunut varsin hyvin ja kulutuskerroksen dielektrisyysarvot sijaitsevat "turvallisessa" ikkunassa 8-12. Sen sijaan kulutuskerroksen paksuudet olivat lähes kauttaaltaan erittäin suuria, kerroksen keskipaksuus oli 139 mm ja alle 50 mm:n kulutuskerrospaksuuksia mitattiin vain Mikonselän alueelta lähellä Oikaria.



Paikallistien 16237 tutkatuloksia oli erittäin vaikea tulkita, koska kulutuskerroksen kerrospaksuudet vaihtelivat suuresti. Lisäksi etenkin tieosan 5 alussa signaalin vaimeneminen oli niin suurta, että kulutuskerroksen pohjankin erottaminen oli vaikeaa. Ilman referenssitietoja se olisi ollut paikoin lähes mahdotonta.

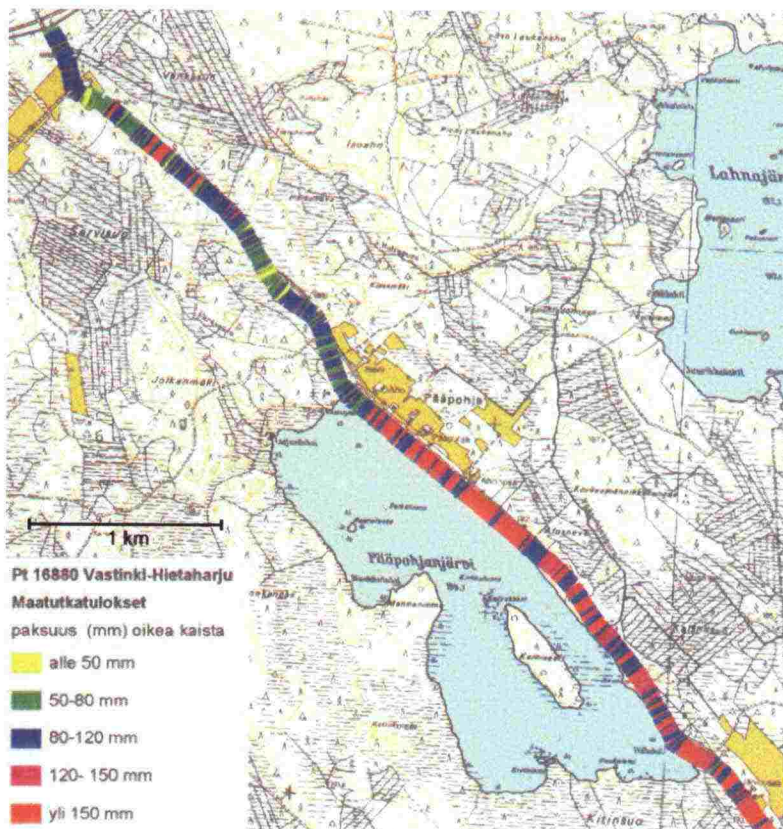
#### Pt 16830 Vastinki-Hietaharju, to 01-02

Myös paikallistien 16830 Vastinki - Hietaharju kulutuskerroksen suhteutus oli hyvin onnistunut, dielektrisyysarvot olivat varsin tasaisesti välillä 10-12, eikä yli 16 dielektrisyysarvoja juurikaan havaittu (kuva 21). Kulutuskerroksen paksuudessa oli kuitenkin suuria alueellisia vaihteluita. Tien alkuosassa kulutuskerroksen paksuus oli pääosin välillä 80 - 120 mm, mutta paikoin peltojen kohdalla kulutuskerroksen paksuudeksi mitattiin tutkalla jopa 350 mm. Tämän jälkeen tieosan 1 loppuosassa kulutuskerroksen paksuus oli alle 80 mm ja paikoin sorastusta edellyttävästi alle 50 mm. Tieosalla 2 kulutuskerroksen paksuus on noin 150 mm Pääpohjanjärven loppuun saakka. Tämän jälkeen kulutuskerroksen paksuus vaihtelee välillä 50-120 mm (kuva 22).



Kuva 21 Pt 16830 Vastinki – Hietaharju soratien kulutuskerroksen dielektrisyys tien Hietaharjun puoleisessa päässä





Kuva 22. Pt 16830 Vastinki – Hiekkaharju soratien kulutuskerroksen paksuus tien hiekka-harjun puoleisessa päässä.

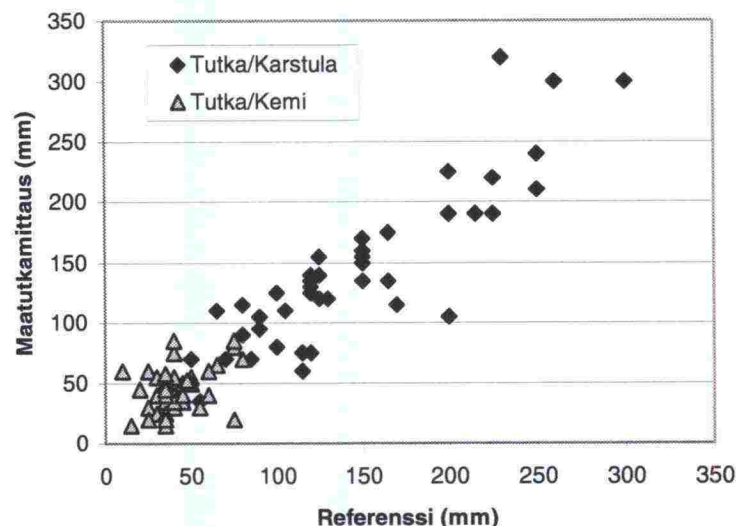
## 5 TULOSTEN TARKASTELU JA JOHTOPÄÄTÖKSET

### 5.1 Maatutka ja kulutuskerroksen paksuus

Taulukossa 8 on vertailtu maatutkatuloksia ja referenssimittaustuloksia ja kuvan 23 diagrammissa esitetään yksittäiset tulokset Kemin ja Karstulan osalta. Vaikka tutkatulkinnassa on käytetty referenssituloksia tulkinnan apuna, ei niiden perusteella ole kulutuskerroksen paksuutta tulkittu ”väkisin” oikeaan kohtaan. Sen sijaan tulkinnassa on tarkasteltu tietä kokonaisuutena siten, että poimittu rajapinta on yleensä tulkintaohjelmalla tulkittava lähin jatkuva rajapinta. Taulukko osoittaa, että tutkatekniikalla voidaan kulutuskerroksen keskimääräinen paksuus määrittää varsin luotettavasti, joskin yksittäisiä pisteitä tarkasteltaessa keskivirhe on keskimäärin 25 mm. Mittaustulosten keskinäistä korrelaatiota 0.93 voidaan pitää myös varsin hyvänä.

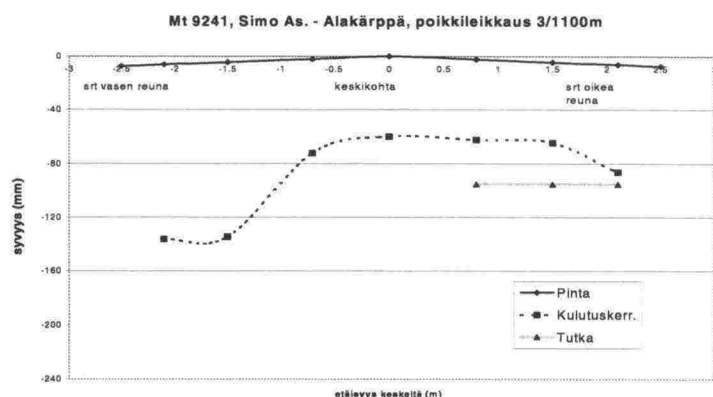
*Taulukko 8. Kulutuskerroksen keskipaksuudet maatukatekniikalla ja näytteenotolla määritettynä sekä tutkatulosten keskivirhe referensseihin verrattuna.*

	Kemin tmp	Karstulan tmp	Kaikki
<b>Keskiarvo: tutka</b>	41.5 (mm)	144 (mm)	92.2 (mm)
<b>Keskiarvo: referenssi</b>	44.1 (mm)	142.8 (mm)	92.8 (mm)
<b>Keskivirhe</b>	13.3 (mm)	31.2 (mm)	25.3 (mm)

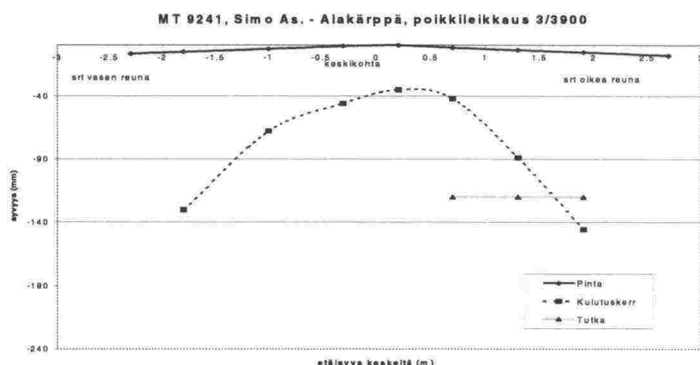


*Kuva 23. Maatutkamittausten tarkkuus sorateiden kulutuskerroksen paksuustutkimuksissa: maatutkamittaustulosten suhde referenssitietoihin.*

Syy siihen, miksi maatutka kulutuskerroksen paksuuden mittauksissa ei ole yhtä tarkka kuin päällystetyillä teillä käy hyvin ilmi kuvissa 24 – 27, joissa on esitetty Mt 9241 Simo as. – Ylikärppä kulutuskerroksen paksuudet tien poikkileikkaukselta määritettynä sekä maatutkalla mitattu kulutuskerroksen paksuus oikean kaistan ulkouran kohdalta. Koska oikean kaistan ulkouran kohta soratiella vaihtelee suuresti tien poikkileikkauksessa ja koska ilmavasteantennilla mitattavan tierakenteen pinta-ala on noin 300 \* 300 mm, ei tutkalla saatavaa tietoa voida sijoittaa pistemäisesti poikkileikkaukseen. Sorateiden kulutuskerroksen referenssituloksia tarkasteltaessa on myös muistettava, että useassa kohdassa kulutuskerroksen ja alempien rakennekerroksien rajapinnan määrittäminen oli todella hankalaa.

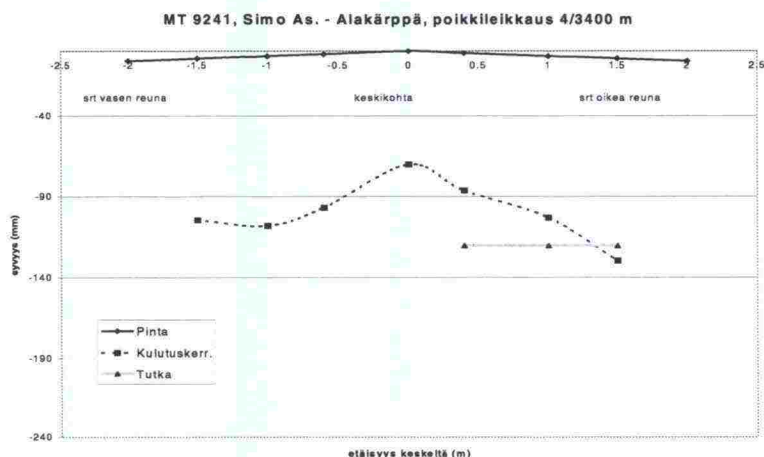


Kuva 24. Soratien kulutuskerroksen paksuus tien poikkileikkauksessa ja samasta kohdasta tehdyn maatutkamittauksen tulkinta, joka on tehty ilman referenssitietoa. Mt9241, poikkileikkaus 3\_1100m.

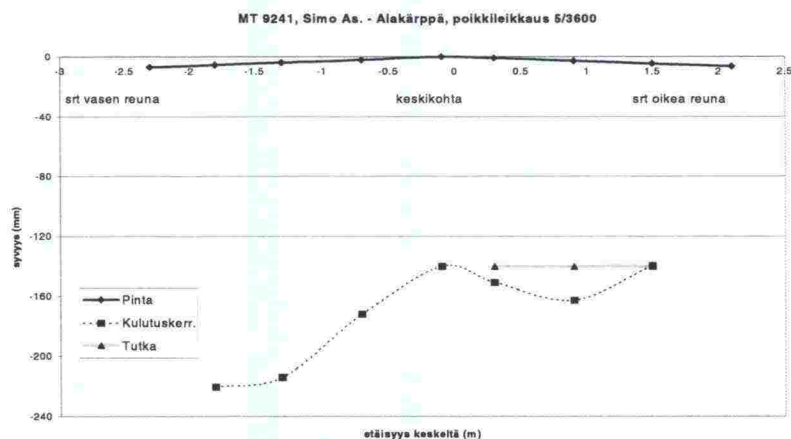


Kuva 25. Soratien kulutuskerroksen paksuus tien poikkileikkauksessa ja samasta kohdasta tehdyn maatutkamittauksen tulkinta, joka on tehty ilman referenssitietoa. Mt9241, poikkileikkaus 3\_3900m.





Kuva 26. Soratien kulutusterroksen paksuus tien poikkileikkauksessa ja samasta kohdasta tehdyn maatumittauksen tulkinta, joka on tehty ilman referenssitietoa. Mt9241, poikkileikkaus 4\_3400m.



Kuva 27. Soratien kulutusterroksen paksuus tien poikkileikkauksessa ja samasta kohdasta tehdyn maatumittauksen tulkinta, joka on tehty ilman referenssitietoa. Mt9241, poikkileikkaus 5\_3600m.

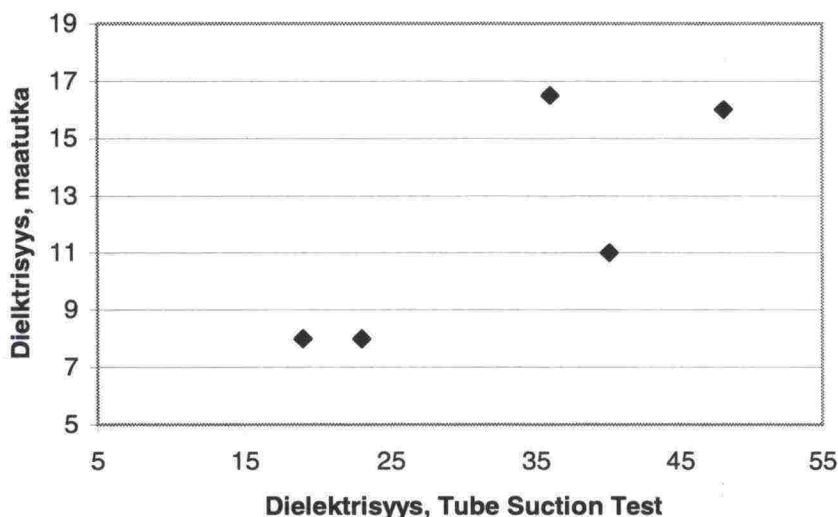
## 5.2 Maatutka ja kulutusterroksen laatu

Vaikkakin tässä tutkimuksessa kerätty aineisto on vielä suppeahko, osoittavat tutkimustulokset selkeästi, että maatutkan avulla mitatut kulutusterroksen dielektrisyysarvot heijastavat selkeästi materiaalin laatua ja etenkin sen suctionomaisuuksia. Maantien 9241 Simo as. - Ylikärppä kulutusterroksesta otettujen näytteiden laboratoriokokeet ja samoista kohdista tehtyjen maatumittauksien tulokset osoittavat selkeästi, että pintaheijastusmentelmällä mitatulla dielektrisyydellä ja Tube Suction testin tuloksilla on ilmeinen yhteys (kuva 28). Koska kulutusterroksen hienoainesmäärä vaihteli vain 14 - 16 %:n välillä, ei kyseessä voinut olla matric suction imupaineesta johtuva kosteuden vaihtelu. Sen sijaan kulutusterroksen kosteustilaan vaikuttaa sel-

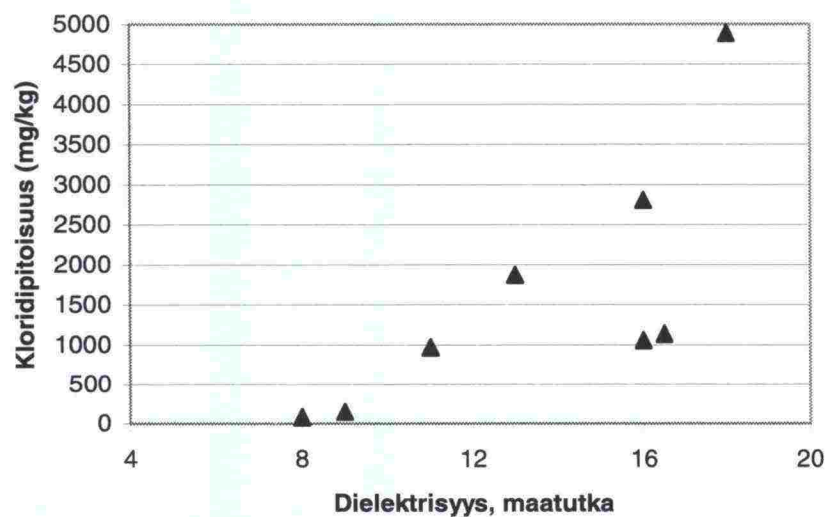
keästi käytetyn suolan määrä kuten kuva 29 selkeästi osoittaa. Se, johtuuko korkea kulutuskerroksen dielektrisyys liian runsaasta hienoainesmäärästä vai runsaasta suolan käytöstä, voidaan arvioida visuaalisesti tutkasig-naalin vaimenemisen perusteella.

Maantiellä 9241 kloridipitoisuus oli joillakin kohteilla niin korkea, että sen voidaan olettaa olevan eräänä syynä kulutuskerroksen ongelmiin. Esimerkiksi tieosan 4 paaluvälillä 2600 – 3100 m, korkeasta kloridipitoisuuksista johtuen, korjatun kohteen vanha kulutuskerros käyttäytyi imupainekokeessa erittäin huonosti ja siksi kohteen kelirikko-ongelmat aiheutuivat todennäköisesti kulutuskerroksesta eikä alemmista rakennekerroksista tai pohjamaasta. Tällaisissa tapauksissa ennen uuden kantavan kerroksen murskeen lisäystä tulisi vanha ja huonolaatuinen kulutuskerros ehdottomasti poistaa.

Verkkotason tutkimuksissa tuli niinikään selkeästi esille se, että maatutkan tuottamat dielektrisyysarvot kertovat tien kulutuskerroksen ja samalla koko tierungon kosteustilasta. Kuten kappaleessa 4.2. esitetyt GIS-kartat osoittivat, selittävät mitatut dielektrisyysarvot erinomaisesti tien kosteusolosuhteita. Kun dielektrisyysarvot yhdistetään kulutuskerroksen paksuusmittauksiin, voidaan kulutuskerroksen materiaalit suhteuttaa sekä tien kuivatus suunnitella siten, että saavutetaan optimaaliset kosteusolosuhteet kantavaa, kiinteää ja pölyämätöntä kulutuskerrosta varten.



Kuva 28. Maatutkalla mitatun soratien kulutuskerroksen dielektrisyiden ja samasta kohtaa otetusta näytteestä tehdyn Tube Suction testin tulokset.



Kuva 29. Maatutkalla mitatun kulutuskerroksen dielektrisyiden ja samasta koh-  
taa otetun näytteenä tehdyn kloridipitoisuusanalyysin tulokset.



## 6 YHTEENVETO

Tutkimustulokset osoittavat selkeästi, että maatutkaa voidaan käyttää sora-teiden kulutuskerroksen paksuuden ja laadun mittauksissa. Maatutkalla tehtyjen kulutuskerroksen paksuusmittausten tarkkuus ei kuitenkaan ole samaa luokkaa kuin esimerkiksi päällystemittausten tarkkuus useastakin syystä johtuen. Esimerkiksi poikkileikkauksista määritetyt kulutuskerroksen paksuudet osoittivat, että paksuus voi vaihdella suuresti jo hyvinkin lyhyellä matkalla tien sivusuunnassa ja siksi maatutka-antennilla mitatut paksuudet eivät aina täsmää referenssitiedon kanssa. Kuitenkin keskiarvotarkastelut osoittivat, että pidemmällä mittausvälillä tuloksia voidaan pitää varsin luotettavina.

Kulutuskerroksen dielektrisyysmittaukset osoittavat selkeästi tienpinnan kosteusolosuhteet ja imupaineen suuruuden. Esimerkiksi Mt 9241 Simo as. – Ylikärppä tutkimuskohteessa tie oli suurimmalta osaltaan ns. rakennettu soratie ja siksi kulutuskerroksen dielektrisyys kuvasi etupäässä kerroksen kloridipitoisuutta. Verkkotason tutkimuksissa esille tulleet korkeat kulutuskerroksen dielektrisyysarvot kertoivat myös alueista, joissa kulutuskerroksessa on todennäköisesti liikaa hienoainesta suhteessa tien kuivatuksen laatuun.

Maatutkatekniikan avulla tehtyjen kulutuskerroksen paksuus- ja laatututkimuksien tuloksia voidaan hyödyntää usealla tavalla kustannustehokkaasti tienpidon tarpeisiin sekä hanke- että verkkotasolla. Paksuusmittauksista piirretyt GIS-kartat osoittivat selkeästi ne alueet, joissa kulutuskerros oli niin ohutta, että sinne olisi tarvittu lisämursketta. Näitä jaksoja oli hankekohteena olevalla Mt 9241:llä sekä lähes kaikilla Karstulan tiemestaripiirin kohteilla yllättävän vähän. Toisaalta karttapohjalla näkyvät niinikään alueet, joissa kulutuskerros on vaarallisen paksu, mikä voi aiheuttaa pahimmassa tapauksessa kelirikko-ongelmia. Näissä kohteissa kerrospaksuutta ei tulisi enää kasvattaa, vaan mieluummin ohentaa. Tällöin lisämurskeena tulisi käyttää esimerkiksi 8-18 mm sepeliä.

Eri maatutka-antennien vertailut osoittivat, että 1.5 GHz maavasteantennin antama tulos ei ole niin paljoa parempi, että se kompensoisi 1.0 GHz:n kartiotorviantennin edut mittausten nopeudessa ja toisaalta siinä, että samalla saadaan tietoa kulutuskerroksen dielektrisydestä. Poikkileikkaustutkimukset osoittivat, että kulutuskerroksen paksuus vaihtelee suuresti, ja siksi jatkossa olisi ehkä harkittava paksuusmittauksia kahdella antennilla tien keskeltä ja ulkourasta. Toinen vaihtoehto on, että maatutkaluotauksissa mitataan 1.5 GHz:n antennilla poikkileikkaukset kulutuskerroksesta esimerkiksi 1 km:n välein.

## 7 VIITTEET

Maijala, P. , Saarenketo, T. and Valtanen, P. 1994. Correlation of Some Parameters in GPR measurement Data with Quality Properties of pavements and Concrete Bridge Decks. Preceeding of the Fifth International Conference on Ground Penetrating Radar

Maser, K.R. and Scullion, T. 1991. Automated detection of Pavement layer Thickness and Subsurface Moisture Using Ground Penetrating Radar. TRB paper 1991.

Roimela, P. 1997. Päälystetutkan ja dielektrisyyssondin käyttö päälysteiden laadunvalvonnassa. Diplomityö Oulun Yliopistossa.

Saarenketo, Timo 1990. Maatutka – uusi tutkimusmenetelmä tie- ja siltatutkimuksiin. Tie ja liikenne 1-2/1990, s. 8-11.

Saarenketo, Timo 1992. Ground-penetrating radar applications in road design and construction in Finnish Lapland. In: Kauranne, K. (ed.) Glacial stratigraphy, engineering geology and earth construction. Geological Survey of Finland. Special Paper 15, 161-167.

Saarenketo, Timo 1995. Using Electrical Methods to Classify the Strength Properties of Texas and Finnish Base Course Aggregates. Center for Aggregates Research, 3rd Annual Symposium Proceedings, Austin, Texas. p. 19.

Saarenketo, Timo; Scullion, Tom 1996. Laboratory and GPR tests to evaluate electrical and mechanical properties of Texas and Finnish base course aggregates . In: GPR '96 : 6th International Conference on Ground Penetrating Radar, September 30 - October 3, 1996, Sendai, Japan. Proceedings. Sendai: Tohoku University, 477-482.

Saarenketo, Timo 1998. Electrical properties of water in clay and silty soils. In: Sato, M. & Versteeg, R. (eds.) Ground penetrating radar (GPR '96). Journal of Applied Geophysics 40 (1-3), 73-88.

Scullion, Tom and Saarenketo, Timo 1997. Using Suction and Dielectric Measurements as Performance Indicators for Aggregate Base Materials. Transportation Research Board Record 1577, pp. 37-44.

Ylitapio, S. 1997. TS-testin käyttö sitomattomien ja bitumilla sidottujen murskeiden laadun arvioinnissa. Insinööritö, Rovaniemen Teknillinen Opilaitos, 35 s.



ISSN 0788-3722  
ISBN 951-726-632-4  
TIEL 3200605